

Efeito do sistema plantio direto na resistência mecânica do solo a penetração

A necessidade de aprimoramento no meio rural é cada vez mais necessária, visando uma maior produtividade num curto período. Dessa forma, o Sistema de Plantio Direto (SPD) apresentou-se como resposta a problemática do aumento de produtividade sem aumento de área ou tempo de produção, diminuindo o impacto direto de ações externas no solo. O estudo foi executado em um Latossolo vermelho Distrófico Argissólico, onde o objetivo foi analisar a resposta da Resistência Mecânica do Solo a Penetração (RMSP) na implementação do SPD em uma área cultivada com milho. As camadas estudadas foram de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, com os dados da RMSP coletados através de um penetógrafo. A fitomassa anterior foi manejada com um triturador de palhadas e em cima dessa cobertura implementada o cultivo do milho irrigado. A pesquisa foi desenvolvida na região Oeste Potiguar, área de clima semiárido. No desenvolvimento do trabalho analisou-se a RMSP em pontos georreferenciados, nestes foram coletadas amostras para quantificar a umidade, identificando se o teor de água interferiu na propriedade física estudada. O programa SISVAR foi utilizado para realizar as análises estatísticas, através da variância pelo teste F. As variáveis (RMSP e umidade) foram analisadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Após dois ciclos da cultura do milho constatou-se uma redução na RMSP em todas as camadas e, mesmo havendo diferença significativa no teor de água no solo com relação aos dois ciclos, foi possível constatar que não interferiu na RMSP.

Palavras-chave: Produtividade; Fitomassa; Compactação.

Effect of the direct planting system on the mechanical resistance of the soil to penetration

The need for improvement in rural areas is increasingly necessary, aiming at greater productivity in a short period. Thus, the No-Tillage System (SPD) presented itself as a response to the problem of increasing productivity without increasing the area or production time, reducing the direct impact of external actions on the soil. The study was carried out in a red Dystrophic Argisolic Latosol, where the objective was to analyze the response of the Soil Mechanical Resistance to Penetration (RMSP) in the implementation of the SPD in an area cultivated with corn. The studied layers were 0-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm, with the RMSP data collected through a penetrometer. The previous phytomass was handled with a straw chopper and on top of that cover, irrigated corn cultivation was implemented. The research was carried out in the Oeste Potiguar region, an area of semi-arid climate. In the development of the work, the RMSP was analyzed in georeferenced points, in which samples were collected to quantify the humidity, identifying whether the water content interfered in the studied physical property. The SISVAR program was used to perform the statistical analysis, using the variance by the F test. The variables (RMSP and humidity) were analyzed by the Tukey test at 5% probability. After two cycles of maize culture, there was a reduction in the RMSP in all layers and, even though there was a significant difference in the water content in the soil in relation to the two cycles, it was possible to verify that it did not interfere in the RMSP.


Keywords: Productivity; Phytomass; Compaction.


Topic: Engenharia Agrícola

Received: 03/04/2022


Approved: 20/04/2022


Reviewed anonymously in the process of blind peer.


Polianna Maria da Costa Bandeira 
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7229543787567127>
<https://orcid.org/0000-0002-7183-5705>
polianabandeira1@hotmail.com


Priscila Pascali da Costa Bandeira 
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7920904010363268>
<https://orcid.org/0000-0003-0966-7488>
priscilabandeira@outlook.com


Ana Beatriz Alves de Araújo 
Ministério do Desenvolvimento Regional, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3258937728496364>
<https://orcid.org/0000-0003-0477-0021>
beatrizufersa@gmail.com

Suedêmio de Lima Silva 
Universidade Federal Rural do Semiárido, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6113069815332176>
<https://orcid.org/0000-0002-6120-4483>
suedemio@ufersa.edu.br

Antônio Diego da Silva Teixeira 
Universidade Federal Rural do Semiárido, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7602339705056052>
<https://orcid.org/0000-0003-4506-8618>
diego.itap@hotmail.com

Erlan Tavares Costa Leitão 
Universidade Federal Rural do Semiárido, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5440625470470468>
<https://orcid.org/0000-0003-2129-0943>
erllantavares@hotmail.com

Ana Luiza Veras de Oliveira 
Universidade Federal Rural do Semiárido, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-1977-7907>
ana_luizaveras@hotmail.com

Jonatan Levi Ferreira de Medeiros 
Universidade Federal Rural do Semiárido, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5597490752283299>
<https://orcid.org/0000-0002-6869-8180>
jonatan_levi@hotmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.004.0005

Referencing this:

BANDEIRA, P. M. C.; BANDEIRA, P. P. C.; ARAÚJO, A. B. A.; SILVA, S. L.; TEIXEIRA, A. D. S.; LEITÃO, E. T. C.; OLIVEIRA, A. L. V.; MEDEIROS, J. L. F.. Efeito do sistema plantio direto na resistência mecânica do solo a penetração. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.13, n.4, p.49-61, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.004.0005>

INTRODUÇÃO

A mecanização agrícola é hoje uma necessidade no campo, principalmente para grandes produtores. Segundo Devkota et al. (2020), nações que são bastantes desenvolvidas como Reino Unido e Japão estão cada vez mais adquirindo tecnologias e inteligências agrícolas como drones, inteligências artificiais, robôs e tratores cada vez maiores e com a opção de piloto automático, no intuito de agilizar as etapas de produções sem que haja um aumento nos custos operacionais. Em contrapartida, põem-se máquinas cada vez mais pesadas na intenção de acelerar as operações agrícolas, ocasionando a alteração das propriedades físicas dos solos de forma mais rápida e desenfreada. Este efeito não prejudica apenas a produtividade da área, mas também o meio ambiente.

Uma resolução para esta questão foi utilizar os sistemas de plantio conservacionista contribuindo na proteção da superfície do solo. Um exemplo é o sistema de plantio direto (SPD), onde o mesmo recobre toda a superfície do solo, utilizando uma palhada ou, também denominada cobertura morta, diminuindo o contato do maquinário agrícola de forma direta no solo e reduzindo o revolvimento do mesmo, além de se evitar erosões hídricas devido ao impacto da gota de água ao se chocar com o solo.

O SPD começou a ser introduzido em 1970, iniciando no sul do país, onde foi visto a dificuldade de ingressar este sistema devido a difícil disponibilidade de máquinas semeadoras propícias para o corte da cobertura¹, visto que, o maquinário utilizado neste sistema não era o mesmo que era utilizado no sistema mais tradicional no Brasil, o sistema convencional. Ocasionalmente, ainda hoje, um alto custo para a mudança de sistemas de plantio, mesmo os pequenos produtores entendendo que essa alteração de sistema tende a um aumento de produtividade, já que o SPD ajuda a manter a estrutura do solo, potencializa a capacidade produtiva, acumula matéria orgânica na superfície, mantém a umidade do solo e diminui a evaporação da água do solo para a atmosfera (MEDEIROS, 2019). Há diversos fatores que interferem, para o aumento da compactação. A umidade é um desses motivos, que deixa o solo mais propício a diminuição de poros, por isso ao realizarmos alguma prática ou operação agrícola devemos definir o teor de água.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do Sistema de Plantio Direto (SPD) sobre a Resistência Mecânica do Solo a Penetração (RMSP), analisando a resposta do solo a implementação do SPD, durante dois anos de cultivo de milho, e identificando o grau de contribuição do manejo do solo para a RMSP.

REVISÃO TEÓRICA

Compactação em solos agrícolas

Na agricultura moderna, a compactação do solo se tornou um inconveniente para solos agrícolas. Sendo constantemente relacionada ao uso intensivo de maquinários pesados, pastoreio intensivo e realização de manejos inadequados (KROULÍK et al., 2009). Essa situação acaba gerando uma redução substancial na produtividade agrícola, se tornando mais danoso quando não há uma cobertura vegetal no solo ou ao se realizar o preparo do solo com alto teor de umidade, ocasionando a redução do índice de

¹ <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/98258/1/500perguntasistemaplantiodireto.pdf>

estabilidade agregada, a porosidade, a condutividade hidráulica, maior resistência mecânica a penetração das raízes, entre outros, diminuindo assim, a bem-estar do solo (SHAH et al., 2017). Com o crescimento acelerado da população humana a agricultura mais sustentável atendendo as necessidades do solo torna-se primordial, já que o solo é um indicador importante para produção de alimentos com uma maior qualidade (AHMED et al., 2019).

Segundo Hargreaves et al. (2019), a forma como o solo irá reagir a uma pressão externa varia de acordo com o tipo de solo, por exemplo, solos mais arenosos tendem a serem mais resistentes à compactação devido ao tamanho de suas partículas e poros, já solos argilosos, de forma contrária, por possuírem partículas e poros menores são mais facilmente compactados. O solo é constituído por parte líquida, gasosa e sólida, sendo esta última a que apresenta em maior proporção. Devido a junção dessas três fases, o solo pode ser avaliado por diversas direções, como por exemplo, a sua estrutura, a textura, a umidade, a densidade e entre outros. Onde cada uma dessas análises pode ser um indicador de compactação ou impedimento de crescimento de raízes.

Segundo Shah et al. (2017), a relação entre alta carga exercida sobre o solo que possua uma alta umidade pode tornar o solo mais susceptível a compactação, diminuindo os macroporos e o decréscimo da capacidade de suporte do solo. O que torna essas duas grandezas dependentes, o aumento da umidade pode ocasionar o aumento da compactação, porém não o inverso. A pressão na superfície do solo em umidade inadequada, tende a potencializar a compactação do solo e os danos estruturais, pois as partículas do solo se acomodarão de forma a facilitar que os agregados fiquem mais próximos, diminuindo o espaço poroso e alterando a estrutura do solo (HARGREAVES et al., 2019). Segundo Colombi et al., (2018), solos onde há altos valores de RMSD há alteração na dinâmica de repartição de água no solo, de forma negativa, o que leva a diminuição da zona de influência das raízes, dificultando a produção e desenvolvimento das culturas, desta forma encontrar maneiras de diminuir a resistência do solo a penetração, tenderá em uma melhora na produtividade da cultura econômica.

Em estudo realizado por Moraes et al. (2020) com a cultura da soja, constatou que o aumento da compactação afetou a densidade do comprimento da raiz e a massa seca da cultura analisada. Foi observado que uma mesma amostra de solo com o mesmo sistema de plantio, porém com diferentes estresses por pressão externa, ocasionou diferentes resultados para as mesmas variáveis anteriores, onde a amostra que obtinha maior quantidade de passagens de máquina, apresentou resultados mais negativos, com baixa densidade de raiz.

Causas e efeitos da compactação dos solos agrícolas

A profundidade e o grau de compactação do solo não irão depender apenas dos esforços na superfície do mesmo, existe diversos fatores que contribuem para ocasionar restrições ao sistema solo (RICHART et al., 2005), como por exemplo a retirada da vegetação original, uso intensivo de máquinas agrícolas, uso inadequado de máquinas para preparo do solo e há também, casos naturais, como a gota da chuva.

Ao realizarmos a substituição das florestas para áreas agrícolas ocasionamos um desequilíbrio no sistema, pois ocorre a retirada da cobertura vegetal original e o incremento de culturas para produção, que junto a elas, trarão práticas de manejo de solo que por muitas vezes são inadequadas. Toda essa alteração provoca a quebra da relação estável entre o solo e o meio, alterando neste solo propriedades químicas, físicas e biológicas (RICHART et al., 2005), já que se trata de uma cultura e práticas na qual aquele ambiente não estava habituado.

A gota da chuva é avaliada como uma forma de adensamento, que é uma forma natural de restrição do solo, pois ao cair no solo descoberto o compacta e desagrega, com este impacto sobre a superfície incide um rompimento mecânico dos agregados, constituindo assim, uma camada adensada (RICHART et al., 2005). Esse adensamento funciona como um selo, que dificulta e reduz a infiltração e facilita o escoamento superficial (PELLEGRINI et al., 2016).

Segundo Richart et al. (2005), apesar de possuir o intuito de melhorar as condições do solo, para maior adaptação e produção da cultura, essas operações possuem alguns pontos negativos como o aumento da pulverização do solo, facilita a erosão e restringe o crescimento das raízes e causam o chamado “pé-de-grade” ou “pé-de-arado, que é o uso exagerado desses implementos agrícolas a uma mesma profundidade, ocasionando compactação a profundidades maiores². Hoje já existe sistema de plantio mais conservacionistas, que diminuem estas operações e suas consequências. É o exemplo do Sistema de Plantio Direto, que o revolvimento no solo é o menor possível, diminuindo o tráfego de máquinas.

Este é um dos principais problemas e causadores da compactação no solo, que se intensificou com o aumento da tecnologia na área rural. Com máquinas e implementos cada vez maiores, com o intuito de diminuir o tempo de operação, consequentemente diminuindo diversos gastos econômicos, põem-se máquinas e implementos com um peso elevadíssimo sobre o solo. Esse tráfego exacerbado pode ocasionar, além da compactação, ocasionam sulcos, perturbação do perfil e diminuição da quantidade de macroporos (AMPOORTER et al., 2012).

Método para identificação de compactação no solo

Para mensurar o grau de compactação de uma análise de solo, mede-se a resistência à penetração, que de forma indireta representa a energia necessária que as raízes da cultura devem possuir para penetrar nos vazios do solo (MĂRUNȚELU et al., 2017). Sendo um modo prático, rápido e fácil de determinar a resistência do solo a penetração das raízes, é utilizando equipamentos como o penetrógrafo que medem a dificuldade de uma haste de ponta cônica a penetrar no solo, reproduzindo assim a resistência que o solo proporciona a penetração das raízes (OLIVEIRA et al., 2015). Segundo Torres et al. (1999), existe valores médios que são considerados determinantes para causar problemas no desenvolvimento radicular de culturas, sendo estes valores entre 3,5 a 6,5 MPa.

Algumas características físicas do solo podem sofrer influência do sistema de manejo adotado e

² <https://gespianos.wordpress.com/2015/11/01/compactacao-do-solo-causas-e-indicadores/>

também são correlacionados com a compactação. Por exemplo, se confrontado com o sistema convencional, o de plantio direto (SPD) é um método mais eficiente no controle de erosão do solo, controle de umidade, temperatura, entre outros. Segundo Veríssimo et al. (2019), o SPD contribui para melhorar características físicas, químicas e biológicas do solo, além destas contribuições, o sistema de plantio direto se torna um complemento para o uso de herbicidas, pois ajuda a conter o crescimento de plantas invasoras.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O experimento foi realizado em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico Argissólico, segundo Rêgo et al. (2016), onde a área experimental é localizada na Fazenda Rafael Fernandes da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), no município de Mossoró, localizado no estado do Rio Grande do Norte (RN). A posição geográfica corresponde a 5°03'37" de Latitude Sul e 37°23'50" de Longitude Oeste, com altitude média de 72 metros e declividade entre 0 e 2%. O clima (BSwh') é seco, muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono com temperatura média anual de 27,4 °C, precipitação pluviométrica anual de 673,9 mm e umidade relativa do ar de 68,9% no outono (PEREIRA et al., 2011).

Histórico da área

A área, até o ano de 2010, havia vegetação predominante da caatinga hiperxerófila em processo de regeneração. Em seguida, no ano de 2011, houve toda a retirada dessa vegetação e o solo foi preparado para receber o cultivo de feijão-caupi, o manejo foi realizado com o escarificador, a grade de discos e um sistema de irrigação por aspersão convencional foi montado com pressão de 25 m.c.a, 12 metros de alcance e uma vazão de aproximadamente 530 L.h⁻¹. No ano seguinte, em 2012, houve o descanso da área (figura 1). Nos anos de, 2013 e 2014, a área foi mais uma vez preparada com grade de discos, mas desta vez recebeu a cultura do milho. Ao fim da colheita, a área ficou em pousio, até setembro de 2016. A partir de então o sistema de plantio direto foi introduzido na área.



Figura 1: Área experimental. **Fonte:** Medeiros (2022).

A vegetação espontânea foi manejada utilizando um triturador de palha (TRITON-3600) da marca Jan, equipado com um conjunto de 84 facas regulado para trabalhar a uma altura de 5 cm do solo (figura 2). Passados três dias desta operação, foi realizado a semeadura direta das culturas utilizadas para incremento de palhada; *crotalária juncea* (*Crotalaria juncea* L.), *sorgo* (*Sorghum bicolor* L. e/ou Moench), *milheto* (*Pennisetum glaucum* L. e/ou R. Brown).



Figura 2: Manejo da vegetação com o triturador de palha (TRITON – 3600) **Fonte:** Medeiros (2022).

A semeadora utilizada para esta operação foi de fluxo contínuo, marca Tatu modelo PSA³, espaçamento entre linhas de 0,51 metros. Já para controlar as culturas espontâneas, nas entrelinhas das culturas de produção, foi utilizado uma roçadora manual a gasolina (figura 3). Após 70 dias, do início da floração, realizou-se o manejo da vegetação de cobertura com o Triton 3600.

Seis meses após a vegetação espontânea ter sido manejada com Triton 3600, houve a implantação do primeiro ciclo do milho, inicialmente a área estava em pousio e pelo surgimento de algumas plantas espontâneas devido ao período chuvoso, foi aplicado o herbicida Paraquat®. Passados três dias após a aplicação, realizou-se a semeadura do milho com a semeadora-adubadora de precisão pneumática, pantográfica, marca Marchesan, modelo PST4 (figura 4). A área voltou a descansar até o final do mesmo ano. Em dezembro de 2018 foi realizada mais uma semeadura, está sendo o segundo ciclo da cultura do milho.

Área experimental e variáveis analisadas

A área experimental foi organizada em um delineamento em blocos casualizados (DBC), contendo 6 blocos e 30 parcelas, em esquema fatorial. Os fatores de variação propostos foram os dois ciclos do milho nas quatro camadas analisadas (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm), cada unidade experimental (parcela) possui uma área de 180 m² (6 x 30 m). O teor de água do solo foi aferido nas quatro camadas e nos dois ciclos. Uma vez que, seu quantitativo pode alterar os resultados referentes à resistência do solo a penetração, já que o aumento da umidade gera uma diminuição na RMSP.

Na investigação espacial da RMSP, a área foi considerada em sua totalidade 6.300 m² (70 x 90 m) e 90 pontos foram capturados através de um receptor GPS de navegação (Garmin modelo 76 Csx) para ser

realizada as análises de variabilidade espacial da RMSP. O aparelho utilizado possui uma precisão de até 7 m, sendo configurado em coordenadas UTM e o Datum WGS84. Os pontos de coleta para RMSP constituem uma grade que facilita a elaboração dos mapas por meio da krigagem – procedimento geoestatístico que regionaliza as informações de uma variável e a distribui no espaço (figura 5).



Figura 3: Roçador manual a gasolina para controle de vegetação espontânea. **Fonte:** Medeiros (2022).



Figura 4: Semeadora-adubadora para realizar semeadura do milho (*Zea Mays*). **Fonte:** Medeiros (2022).

O penetrógrafo utilizado foi de cone com sistema automático de medição (Solotrack da Falker), equipado com haste de ponteira cônica de 12,83 mm de diâmetro que suporta uma força de até 90 kgf (figura 6). Essas características estão em conformidade com as normas da ASAE S.313.3 (ASAE, 2004). A coleta foi efetuada nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. Os dados obtidos foram gravados de centímetro em centímetro até a última profundidade.

As leituras para RMSP aconteceram após o manejo com o Triton 3600 da fitomassa do milho no primeiro e no segundo ciclo. Para a classificação e determinação da RMSP foi utilizada a proposta de Arshad et al., (1996), onde define classes através dos valores obtidos na resistência do solo: extremamente baixa – valores menores que 10 KPa; muito baixa – de 10 à 100 KPa; baixa – de 100 à 1.000 KPa; moderada – de 1.000

à 2.000 KPa; alta – de 2.000 à 4.000 KPa; muito alta – de 4.000 à 8.000 KPa e extremamente alta – valores maiores que 8.000 KPa.

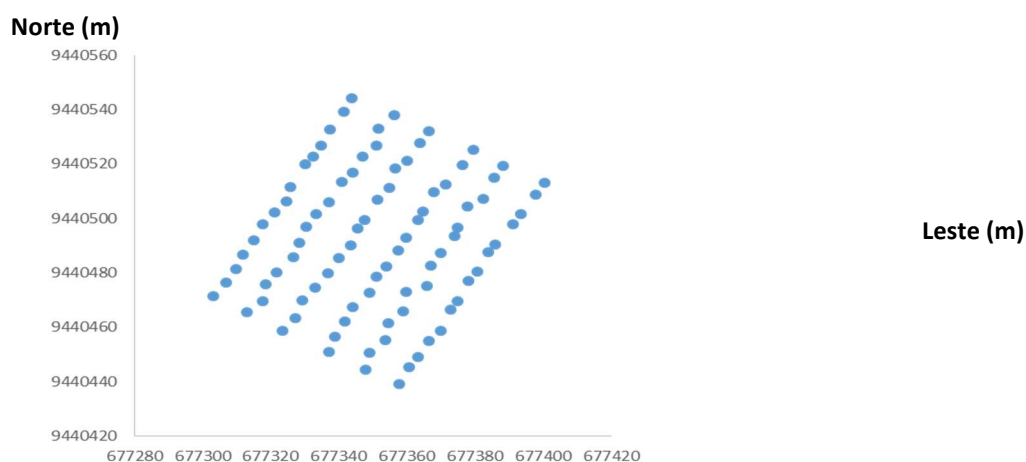


Figura 5: Distribuição espacial dos pontos de amostragem de Resistência do Solo à Penetração, Mossoró (RN). **Fonte:** Medeiros (2022).



Figura 6: Penetrografo utilizado para realizar coletas de RMSP. **Fonte:** Medeiros (2022).

Análise estatística

Através do programa SISVAR as variáveis estudadas, referente à RMSP e ao teor de água, foram submetidas à análise de variância pelo teste F, onde suas médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foi examinado o desdobramento do ciclo dentro da camada e da camada dentro do ciclo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao se analisar os dois ciclos da cultura do milho, observou-se dentro de cada camada houve um decréscimo da RMSP. No primeiro ciclo foi apresentado altos valores de resistência, após a utilização de cobertura morta, como era esperado, a RMSP diminuiu, pois segundo Medeiros (2019), a palhada deve colaborar para uma fácil penetração das raízes contribuindo para o desenvolvimento radicular da cultura.

Se avaliarmos cada camada, nota-se que a camada de 20 – 30 cm possui maior grau de compactação, até mesmo quando comparada com a camada posterior, nos mostrando que, não necessariamente, a profundidade irá afetar na resistência. Isso foi perceptível nos dois ciclos, antes e após o uso da palhada. Este fato deve ter ocorrido devido a essa profundidade se encontrar algum adensamento natural.

Tabela 1: Valores da variável RMSP para as quatro profundidades e para os dois ciclos.

Profundidades (cm)	Ciclos	RMSP (kPa)
0_10	1	704,08 A
	2	149,55 B
10_20	1	1786,16 A
	2	474,56 B
20_30	1	2248,89 A
	2	866,71 B
30_40	1	2357,59 A
	2	1235,84 B

Em estudo realizado por Bogunovic et al. (2018) em solo croata com três diferentes sistemas de plantio direto (sistema convencional, plantio direto e cultivo mínimo), foi identificado que a propriedade física da resistência mecânica a penetração foi afetada pelo tipo de tratamento e profundidade na etapa de semeadura. Observaram que o SPD a longo prazo favoreceu a densidade aparente do solo, do subsolo e a RMSP. Para uma redução eficiente da perda de solo seria o incremento de sistemas mais conservacionistas como o SPD, que no estudo apresentou menor perda média anual de solo.

Alguns atributos do solo, como características químicas, físicas e biológicas e a própria dinâmica da matéria orgânica provem da decomposição e mineralização de diversos resíduos vegetais, está mineralização necessita de tempo para chegar a maiores profundidades, porém foi possível observar que a palhada contribuiu em todo o perfil do solo estudado em apenas dois anos e é possível considerar que a rápida penetração da matéria orgânica no solo foi contribuída pelo fato da área ser irrigada e está localizada no semiárido brasileiro, pois os fatores como calor e água contribuem para acelerar a degradação desta matéria orgânica. O que ao mesmo tempo torna-se uma problemática, visto que a conservação do SPD se torna mais complicada.

Já com relação à umidade nos dois ciclos, foi possível perceber que são estatisticamente diferentes, porém ao analisarmos os ciclos dentro de cada camada, é perceptível que na profundidade de 0-10 cm não há inconformidade, está diferença ocorre nas camadas mais profundas, porém é uma alteração muito pequena, como é possível ser visto na tabela abaixo.

Tabela 2: Teor de água do solo nas quatro camadas e para os dois ciclos.

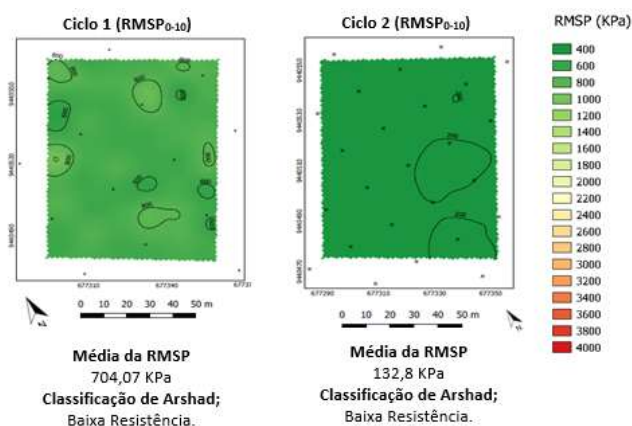
Profundidade (cm)	Ciclo	Umidade (%)
0_10	2	4,22 A
	1	4,69 A
10_20	2	4,33 B
	1	5,81 A
20_30	2	4,81 B
	1	6,53 A
30_40	2	6,26 B
	1	7,54 A

É possível constatar que esta diferença de umidade entre os ciclos não afeta a RMSP, pois segundo Medeiros (2019) o fato de a resistência possuir maiores valores ao aumentarmos a profundidade, mesmo

que haja um pequeno acréscimo na umidade, já se torna uma comprovação, uma vez que uma maior umidade reflete em uma baixa RMSP, ou seja, o acréscimo na umidade não foi suficiente para repercutir em mudanças na resistência.

A representação espacial da RMSP para cada camada nos ciclos 1 e 2 do milho foi definida conforme a elaboração das imagens georeferenciadas e classificadas conforme Arshad et al. (1996). Na ocasião foi construída uma figura, que através da escala de cores informa as condições de desenvolvimento radicular com base na RMSP. A coloração verde representa locais adequados para desenvolvimento radicular, nas regiões amarelas possui apenas restrição e com as colorações laranjas e vermelhas já possui limitação ou impedimento no desenvolvimento das raízes (figuras 7, 8, 9 e 10).

Na profundidade de 0-10 cm, após o manejo na fitomassa do milho nos dois cultivos, a área apresentou baixas limitações ao desenvolvimento das raízes. Nas imagens há predominância da coloração verde (figura 7). Porém na comparação entre os ciclos o valor médio da RMSP possui uma diferença de 571,4 KPa. O que já indica a redução da RMSP em função do manejo.



Legenda: RMSP₀₋₁₀ = Resistência Mecânica do Solo a Penetração na camada de 0 – 10 cm.

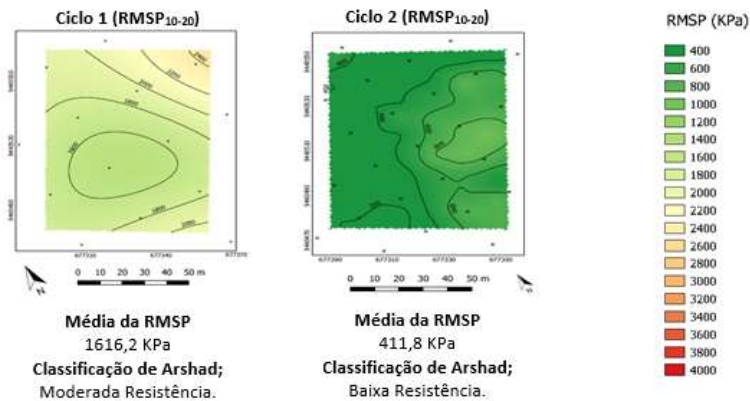
Figura 7: Mapas dos teores de RMSP em kPa no primeiro e segundo ciclo para a camada de 0-10 cm.

Na profundidade de 10-20 cm a RMSP aumentou para as duas condições (figura 8). No primeiro ciclo, a condição de Baixa Resistência ao desenvolvimento radicular foi superada, se tornando agora, Modera Resistência. No segundo ciclo a RMSP continua com Baixa resistência conforme a classificação. No comparativo, a distância entre os vares médios de RMSP foi para 1204,4 KPa um valor bastante considerável se tratando de RMSP.

Para a profundidade de 20-30 cm a RMSP permaneceu (figura 9). No primeiro ciclo, a condição de Moderada Resistência continuou e no segundo ciclo a RMSP ainda permanece como Baixa Resistência conforme a classificação. No comparativo entre os valores médios, a diferença da RMSP foi para 970,57 KPa. Significando um crescimento da RMSP mais suavizado quando comparado a camada anterior.

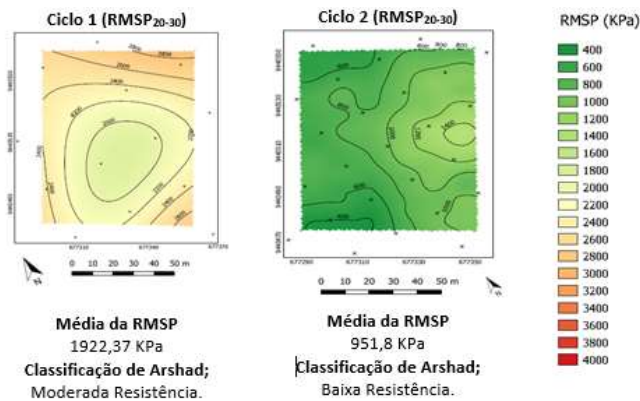
Na comparação da última camada (30 – 40 cm) a RMSP continua a aumentar em profundidade (figura 10). Na primeira condição a classificação é alterada para Alta Resistência com muitas regiões apresentando as colorações em laranja e vermelho. Nesse caso o sistema radicular da maioria das culturas já significa grandes limitações em seu desenvolvimento. Após o manejo da fitomassa do milho, ao fim do segundo ciclo,

os valores de RMSP estão em boas condições de resistência, mesmo considerando o adensamento natural do solo para essa camada. A diferença entre os valores médios de RMSP foi de 886,66 KPa, resultado menor quando comparado as profundidades anteriores.



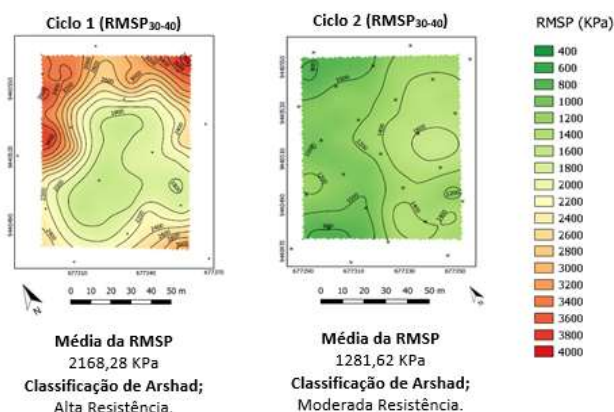
Legenda: RMSP₁₀₋₂₀ = Resistência Mecânica do Solo a Penetração na camada de 10 – 20 cm.

Figura 8: Mapas dos teores de RMSP em kPa no primeiro e segundo ciclo para a camada de 10-20 cm



Legenda: RMSP₂₀₋₃₀ = Resistência Mecânica do Solo a Penetração na camada de 20 – 30 cm.

Figura 9: Mapas dos teores de RMSP em kPa no primeiro e segundo ciclo para a camada de 20-30 cm.



Legenda: RMSP₃₀₋₄₀ = Resistência Mecânica do Solo a Penetração na camada de 30 – 40 cm.

Figura 10: Mapas dos teores de RMSP em kPa no primeiro e segundo ciclo para a camada de 30-40 cm.

Nota-se a grande diminuição da RMSP em todas as camadas do solo estudado. Com áreas que no primeiro ciclo apresentavam uma restrição alta, após o segundo ciclo passaram a apresentar moderada resistência.

Através das médias da resistência mecânica do solo a penetração foi possível quantificar a

porcentagem na diminuição dela. Analisou-se que a camada que mais obteve interferência positiva, foi a superficial (0-10 cm). Isso pode ter ocorrido pelo fato de se encontrar mais próxima a palhada, sendo mais facilmente afetada pela mineralização da matéria orgânica. As diminuições nas camadas seguintes ocorreram em ordem decrescente, a camada mais profunda apresentou a menor diminuição da RMSP.

Tabela 4: Diminuição da RMSP (em porcentagem) em cada camada e entre os dois ciclos da cultura do milho.

Camadas (cm)	Médias _{c1} (KPa)	Médias _{c2} (KPa)	Diminuição da RMSP (%)
0-10	704,08	149,55	78,76
10-20	1786,16	474,56	73,43
20-30	2248,89	866,71	61,46
30-40	2357,59	1235,84	47,58
0-40	1774,18	681,66	61,58

Médias_{c1} = médias referentes ao ciclo 1; Médias_{c2} = médias referentes ao ciclo 2; KPa = Kilo Pascal.

CONCLUSÃO

Após verificar os dados da RMSP, observou-se que houve redução em todas as camadas estudadas. A camada superior (0-10 cm) apresentou a melhor redução da propriedade física estudada de até 78,76% e ao analisar todo o perfil do solo (0-40 cm), essa redução chegou ao valor de 61,58%, sendo assim considerada uma boa melhora na RMSP em apenas dois anos de estudos com a implementação do SPD. Desta forma a adoção do SPD nos oferece uma melhora na característica física (RMSP) do solo estudado.

REFERÊNCIAS

AHMED, N.. Soil Management for Better Crop Production and Sustainable Agriculture. **Agronomic Crops**, p.47-71, 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-981-32-9783-8_4.

AMPOORTER, E.. Impact of mechanized harvesting on compaction of sandy and clayey forest soils: results of a meta-analysis. **Annals Of Forest Science**, v.69, n.5, p.533-542, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s13595-012-0199-y>.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B.. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J.. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America 1996.

ASAE. American Society Of Agricultural Engineers. **Soil cone penetrometer-ASAE S 313.3**. St. Joseph: 2004.

BOGUNOVIC, I.. Tillage management impacts on soil compaction, erosion and crop yield in Stagnosols (Croatia). **Catena**, v.160, p.376-384, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2017.10.009>.

COLOMBI, T.; TORRES, L. C.; WALTER, A.; KELLER, T.. Feedbacks between soil penetration resistance, root architecture and water uptake limit water accessibility and crop growth—A vicious circle. **Science of the total Environment**, v.626, p.1026-1035, 2018.

DEVKOTA, R.; PANT, L. P.; GARTAULA, H. N.; PATEL, K.; GAUCHAN, D.; HAMBLY, H. O.; RAIZADA, M. N.. Responsible Agricultural Mechanization Innovation for the Sustainable Development of Nepal's Hillside Farming System. **Sustainability**, v.12, n.1, p.374, 2020.

HARGREAVES, P. R.; BAKER, K. L.; GRACSON, A.; BONNETT, S.; BALL, B. C.; CLOY, J. M.. Soil compaction effects on grassland silage yields and soil structure under different levels of compaction over three years. **European Journal of Agronomy**, p.125916, 2019.

KROULÍK, M.; KUMHÁLA, F.; HŮLA, J.; HONZÍK, I.. The evaluation of agricultural machines field trafficking intensity for different soil tillage technologies. **Soil and Tillage Research**, v.105, n.1, p.171-175, 2009.

MĂRUNȚELU, I.; RUS, F.. Determining the soil compaction degree by measuring the penetration resistance. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL MECHANICS VIRTUAL ENGINEERING, 7. **Proceedings**. 2017, Brasov: Transilvania University of Brasov, 2017.

MEDEIROS, J. L. F.. Manejo da vegetação de cobertura, quantificação da fitomassa e variabilidade da resistência do solo em plantio direto irrigado no semiárido potiguar. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2019

MORAES, M. T.. Soil compaction impacts soybean root growth in an Oxisol from subtropical Brazil. **Soil And Tillage Research**, v.200, p.104611, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2020.104611>.

OLIVEIRA, F. X. O.. Zona de manejo para preparo do solo na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.2, p.186-193, 2015.

PELLEGRINI, A.; MEINERZ, G. R.; KAISER, D. R.. Compactação Do Solo Em Sistemas Intensivos De Integração Lavoura-Pecuária Leiteira. In: TIECHER, T.. **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil**: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. Porto Alegre: UFRGS, 2016. p.49-64.

PEREIRA, V. C.. Influência dos eventos de El Nino e La Nina na precipitação pluviométrica de Mossoró-RN. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, p.1-13, 2011.

RÊGO, L. G. D. S.; MARTINS, C.; SILVA, E. F. D.; SILVA, J. J. A. D.; LIMA, R. N. D. S.. Pedogenesis and soil classification of an experimental farm in Mossoró, State of Rio Grande do Norte, Brazil. **Revista Caatinga**, v.29, n.4, p.1036-1042, 2016.

RICHART, A.; TAVARES, J. F.; RODRIGUES, O. B.; FUENTES, R. L.; FERREIRA, R.. Compactação do solo: causas e efeitos

Semina: **Ciências Agrárias**, v.26, n.3, 2005.

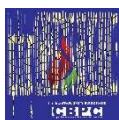
SHAH, A. N.; TANVEER, M.; SHAHZAD, B.; YANG, G.; FAHAD, S.; ALI, S.; BUKHARI, M. A.; TUNG, S. A.; HAFEEZ, A.; SOULIYANONH, B.. Soil compaction effects on soil health and cropproductivity: an overview: an overview. **Environmental Science And Pollution Research**, v.24, n.11, p.10056-10067, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-8421-y>.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F.. **Camadas de Impedimento Mecânico do Solo em Sistemas Agrícolas com a Soja** **Camadas de Impedimento Mecânico do Solo em Sistemas Agrícolas com a Soja**. Londrina: Embrapa, 1999.

VERÍSSIMO, F. P.; FERRAZ, L. R.. **Efeito de plantas de cobertura no manejo do capim-amargoso (digitaria insularis) em sistema de plantio direto**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2019.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea (https://opensea.io/HUB_CBPC), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749ce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157823095011016705/>