

Estresse efetivo de solo arenoso sob integração lavoura-pecuária nos tabuleiros costeiros do Rio Grande do Norte (Brasil)

Pedro Luan Ferreira da Silva^{1*}, Bruna Thalia Silveira Sabino², Flávio Pereira de Oliveira³, Jorge Wiliam de Souza Santos⁴, Adriana Ferreira Martins⁵ Camila Pereira Cagna⁶

¹Doutorando em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Brasil. (*Autor correspondente: pedroluanferreira@gmail.com)

²Graduanda em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba, Brasil.

³Doutor em Ciência do Solo, Professor da Universidade Federal da Paraíba, Brasil.

⁴Mestrando em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Brasil.

⁵Doutora em Ciência do Solo, Fundação de Amparo à Pesquisa Científica da Paraíba, Brasil.

⁶Doutoranda em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 11/10/2022 – Revisado em: 10/12/2022 – Aceito em: 28/12/2022

RESUMO

Sistemas integrados de produção agropecuária (iLP) podem contribuir para a atenuação do estresse efetivo (σ') em solos de classificação textural areia. Objetivou-se com esse estudo determinar o σ' de três classes de solo sob iLP, localizados na zona úmida dos Tabuleiros Costeiros do Rio Grande do Norte. Determinou-se a umidade volumétrica (θ) em amostras de solo com estrutura indeformada provenientes de um Argissolo Vermelho Amarelo, um Neossolo Quartzarênico Órtico e um Neossolo Quartzarênico Órtico Típico, localizados em diferentes estratos de uma topossequência. Foram utilizados os $|\Psi|$ de 60, 100, 330, 1000, 3000, 5000, 10000 e 15000 hPa, além da saturação do solo (θ_s) para determinar o σ' e a frequência de poros do solo por tamanho. O Argissolo mostrou-se mais sensível ao aumento do σ' do solo quando comparado aos Neossolos. O incremento do teor de argila nas camadas mais profundas do solo contribuiu para o aumento do estresse efetivo e, possivelmente da resistência à penetração do solo nos potenciais matriciais mais baixos, próximos ao ponto de murcha. O Argissolo apresentou uma frequência de poros mais homogênea quando comparado aos Neossolos inclusive nos horizontes de transição entre as camadas superficiais e o material parental (Horizonte C). Os Neossolos apresentaram considerável quantidade de poros com diâmetro $> 50 \mu\text{m}$. Esse estudo contribuiu para o entendimento do funcionamento físico do solo, norteando práticas de manejo sustentável e a utilização de sistemas de irrigação eficientes e atenuar os problemas físicos relacionados aos solos arenosos como a baixa disponibilidade de água.

Palavras-Chaves: Agricultura conservacionista, Compactação, Potencial Matricial, Sistema poroso.

Effective stress of sandy soil under integrated crop-livestock system in Coastal Tablelands environment at Rio Grande do Norte, Brazil

ABSTRACT

Integrated crop-livestock systems (iCL) can contribute to the attenuation of effective stress (σ') in soils with textured sand classification. The objective of this study was to determine the σ' of three soil classes under iCL, located in the wetland of the Coastal Tablelands of Rio Grande do Norte, Brazil. The volumetric moisture (θ) was determined in undisturbed soil samples from a Acrisol, Orthic Arenosols, and, Typical Orthic Arenosols located in different strata of a toposequence. The soil matric potentials $|\Psi|$ of 60, 100, 330, 1000, 3000, 5000, 10000 and 15000 hPa, in addition to soil saturation (θ_s) to determine σ' . The Acrisol was more sensitive to the increase in soil σ' when compared to Arenosol. The increase in clay content in the deeper layers of the soil contributed to the increase in the effective stress and, possibly, in the resistance to soil penetration at the lowest matrix potentials, close to wilting point. The Ultisol presented a more homogeneous pore frequency when compared to the Neosols, including in the transition horizons between the surface layers and the parental material (C horizons). The Neosols showed a considerable number of pores with diameter $> 50 \mu\text{m}$. This study contributed to the understanding of the physical functioning of the soil, guiding sustainable management practices and the use of efficient irrigation systems, and alleviating the physical problems related to sandy soils such as low water availability.

Keywords: Conservationist Agriculture, Compaction, Matric Potential, Porous System.

Silva, P.L.F., Sabino, B.T.S., Oliveira, F.P., Santos, J.W.S., Martins, A.F., Cagna, C.P., (2022). Estresse efetivo de solo arenoso sob integração lavoura-pecuária nos tabuleiros costeiros do Rio Grande do Norte (Brasil). Revista Brasileira de Meio Ambiente, v.10, n.3, p.253-265.



1. Introdução

O estresse efetivo do solo é um parâmetro que surge da interação entre o teor de água e o potencial matricial do solo (Letey et al., 1993) e tem como função explicar a resistência à penetração do solo (RP) ocasionada pela pressão de água incidente sobre os poros. Estudos como os de Smith, Johnston e Lorentz (1997) e Whalley (2005) confirmam que o estresse efetivo do solo pode ser utilizado para definir uma relação entre a RP e o estado de água no solo, com diferentes classificações texturais. Com a diminuição do teor de água no solo, a interação entre as partículas do solo através de pontes de ligação tende a se acentuar (Giarola et al. 2003) provocando um aumento no estado de compactação do solo.

O aumento do estado de compactação do solo compromete a qualidade física do solo, impede a germinação de sementes, compromete o crescimento das plantas, a produção de biomassa e o crescimento efetivo do sistema radicular (McCurdy et al. 2022). Wang et al. (2019), observaram que o aumento da RP compromete a absorção de nutrientes essenciais às plantas devido ao menor diâmetro das células radiculares e da dificuldade em penetrar as camadas mais profundas do solo. Por outro lado, o aumento da RP ocasiona a degradação do solo, eleva a densidade do solo e limita o intervalo hídrico ótimo do solo (Benevenuto et al. 2020). Quando moderado, o estado de compactação do solo contribui para o aumento da atividade de enzimas como a piruvato quinase, e a fosfofrutoquinase nas raízes de plântulas, aumentando o acúmulo de P, K, Ca, Mg e outros elementos, como observado por Wang et al. (2019). Para Bennie e Botha (1986) a RP de solos arenosos compactados pode variar de 1,0 a 4,0 Mpa, contudo, Rosolem et al. (1998) observaram que a cultura do algodoeiro teve o crescimento do sistema radicular completamente inibido quando a RP do solo atingiu o valor médio de 2,50 Mpa.

Os solos arenosos apresentam rápida perda de água para a atmosfera e são pouco resistentes à compactação do solo. Dessa forma, a elevada perda de água pode acentuar o estresse efetivo em solos arenosos, principalmente nas épocas mais secas do ano. Para minimizar esse problema, recomenda-se a adição de matéria orgânica no solo (King et al. 2020), pois a mesma permite que o solo seque sem que atinja valores impeditivos de resistência à penetração do solo (Stock e Downes, 2008). Quando comparado aos solos arenosos de clima temperado, os solos arenosos de clima tropical são pobres em matéria orgânica (Yost; Hartemink, 2009), devido, principalmente, ao rápido processo de decomposição. Os sistemas integrados de produção agropecuária podem atenuar esse problema devido à sua capacidade de aportar quantidade considerável de matéria orgânica no solo (Dhaliwal et al. 2021; Silva et al. 2022; Los Rios et al. 2022).

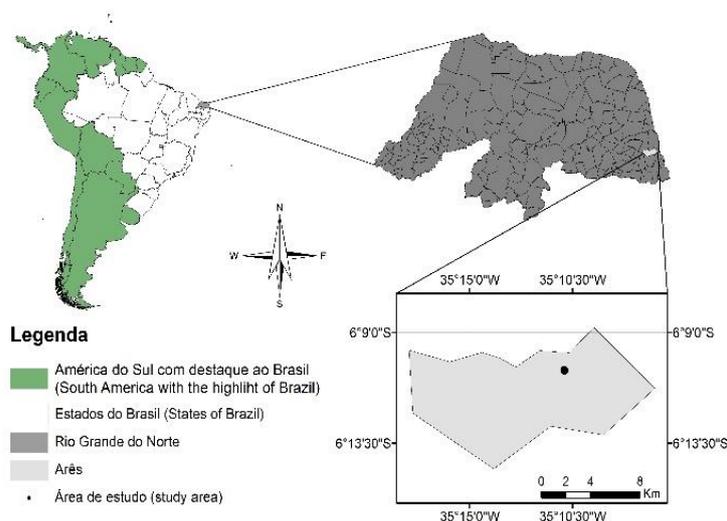
Nesse sentido, conduziu-se o presente estudo com a finalidade de avaliar o comportamento do estresse efetivo (σ') de três diferentes classes de solo, de classificação textural areia, sob sistema de integração lavoura-pecuária na região dos Tabuleiros Costeiros do Rio Grande do Norte, Brasil.

2. Material e Métodos

2.1 Caracterização da área experimental

O ensaio foi implantado na cidade de Arez, RN (6°11'40" S, 35°09'37" W; 52 m. de altitude). O município está localizado na zona úmida dos Tabuleiros Costeiros, microrregião do Litoral Sul (Figura 1). O clima que predomina no município é do tipo Aw (tropical chuvoso), conforme classificação Köppen (Peel et al. 2007). A precipitação média anual é de 1300 mm, com frequência de distribuição entre março e junho, temperatura média de 26,5°C e umidade relativa do ar de 50% (Silva et al. 2020).

Figura 1 – Mapa de localização do município de Arez, RN.
Figure 1 – Location map of Arez, RN.



Fonte: Adaptado de Silva et al. (2021)
Source: Adapted of Silva et al. (2021)

Conforme Santos et al. (2018), existem três classes de solo na área experimental: (S1) Argissolo Vermelho Amarelo, localizado no terço inferior da toposequência; (S2) Neossolo Quartzarênico Órtico, localizado no terço médio e (S3) Neossolo Quartzarênico Órtico típico, no terço superior. A classificação textural do solo foi realizada por Silva et al. (2020), enquadrando-as na classe areia. O material parental dos solos que predominam na região corresponde a sedimentos do grupo Barreiras areno-argilosos (Jacomine et al. 1971). A caracterização granulométrica e o teor de matéria orgânica das classes de solo estão apresentados na Tabela 1. A vegetação predominante corresponde a resquícios de floresta tropical subperenifolia (Diniz et al. 2014).

Tabela 1 – Caracterização granulométrica das classes de solo e teor de matéria orgânica do solo (MOS) nos Tabuleiros Costeiros, RN.

Table 1 - Granulometric characterization of soil classes and soil organic matter (SOM) content in Coastal Tablelands, RN.

Perfil	Horizonte	Camada (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	MOS (%)
(S1) PA7	Ap1	0-18	94	2	4	1,10
	Ap2	18-50	94	2	4	0,70
	CA	50-95	80	10	10	0,74
	C1	95-130	77	8	15	0,66
	C2	130-180	69	7	24	0,55
(S2) PC3	Ap1	0-18	93	5	2	1,76
	Ap2	18-36	93	3	4	0,51
	AB	36-90	84	9	6	0,38
	Bw1	90-140	80	10	10	0,57
	Bw2	140-200	76	14	10	0,33
(S3) PA2	Ap1	0-18	94	2	4	1,10

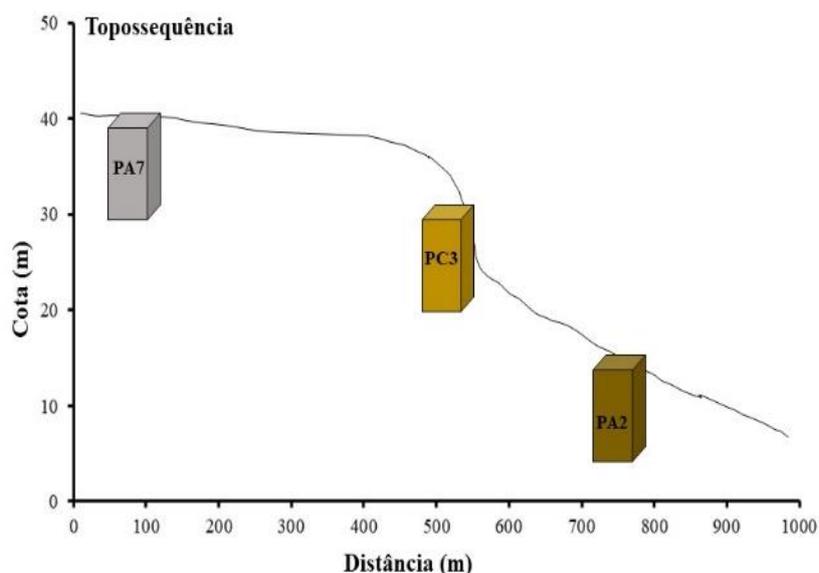
Ap2	18-50	94	2	4	0,70
AB	50-95	89	10	2	0,74
Btx1	95-130	77	8	15	0,66
Btx2	130-180	70	7	23	0,55

Nota: S1- Argissolo Vermelho Amarelo; S2- Neossolo Quartzarênico Órtico; S3- Neossolo Quartzarênico Órtico típico.

2.2 Caracterização dos tratamentos e determinação do estresse efetivo do solo

Originalmente, o solo da área experimental estava cultivado com a espécie [*Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster], antes da implantação do sistema de integração lavoura-pecuária (Diniz et al. 2014; Silva et al. 2018, 2020, 2021). Selecionou-se uma topossequência no local dividindo-a em três estratos da paisagem: terço superior (Topo), terço médio (encosta) e terço inferior (várzea), com cota de 50 metros de altura e distância total entre estratos de 1000 m (Figura 2).

Figura 2 - Esquemática da localização dos estratos na topossequência da área experimental.
Figure 2 - Schematic of the location of the strata in the toposequence of the experimental area.



Fonte: Os autores (2022).
Source: The authors (2022).

No ano de 2017 realizou-se a abertura de trincheiras em cada estrato da paisagem, de forma a expor o perfil de solo e delimitar os horizontes de cada classe de solo avaliada e realizar a descrição morfológica para fins de classificação taxonômica conforme descrito no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al. 2018). A profundidade do perfil variou conforme o estrato da paisagem, obtendo-se no PA7 (0-180 cm), no PC3 (0-200 cm) e PA2 (0-185 cm) de profundidade. Em cada horizonte, coletou-se duas amostras de solo com estrutura indeformada ($98,17 \text{ cm}^3$) em cilindros metálicos tipo Uhland, totalizando dez amostras por perfil de solo. As amostras foram saturadas e utilizadas para a determinação de atributos físicos de solo e obtenção da umidade volumétrica nos seguintes potenciais matriciais $|\Psi|$: 60 hPa em mesa de tensão após atingir o equilíbrio hidráulico (Teixeira et al. 2017), 100, 330, 1000, 3000, 5000, 10000 e 15000 hPa na Câmara de Richards com placas porosas (Klute, 1965), conforme exemplificado na Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma para a determinação do estresse efetivo das classes de solo e os respectivos potenciais matriciais aplicados para determinação da umidade volumétrica.

Figure 3 - Flowchart for the determination of the effective stress of the soil classes and the respective matrix potentials applied to determine the volumetric moisture.



Fonte: Os autores (2022).

Source: The authors (2022).

Os valores de umidade volumétrica no potencial foram ajustados utilizando o modelo matemático de Van Genuchten (1980), utilizando o *software Soil Water Retention Curve (SWRC)* versão beta 3.0 (Dourado Neto et al. 2000), com a constante de restrição hidráulica ($m= 1-1/n$) proposta por Mualem et al. (1986). Os parâmetros da equação de ajuste para as três classes de solos analisadas encontram-se apresentados em estudo publicado por Silva et al. (2020). A umidade volumétrica do solo (θ) correspondente ao $|\Psi|$ foi calculada e utilizada para determinar o estresse efetivo do solo (σ'), conforme descrito por Whalley et al. (2005), utilizando a equação 1:

$$\sigma' \text{ (hPa)} = S / |\Psi| \quad (1)$$

onde S é o grau de saturação do solo (equivalente à porosidade total do solo pelo método da saturação; $m^3 m^{-3}$) e $|\Psi|$ é o valor absoluto do potencial matricial do solo em (hPa).

O diâmetro equivalente máximo dos poros do solo (D) que retém água no potencial (h) da água no solo foi calculado pelo método da capilaridade conforme descrito por Startserv et al. (2021) e Jabro e Steves (2022), utilizando a equação 2. Ao inserir os valores constantes da equação 2, a mesma pode ser simplificada na equação 3 e reescrita de acordo com a equação 4 que pode ser utilizada para calcular o diâmetro do maior tamanho de poro equivalente para solos ou meios porosos em qualquer potencial hídrico do solo (Jabro e Steves, 2022).

$$D = 4\sigma \cos\lambda / |h| g\rho_w \quad (2)$$

$$D \approx 0,3 / |h| \quad (3)$$

$$D \approx 3000 / |h| \quad (4)$$

onde D é o diâmetro equivalente do poro (μm), σ é a tensão da superfície da água, λ é o ângulo de contato entre a água e a parede dos poros, também conhecido como ângulo de umedecimento, $|h|$ é o potencial de água no solo (cm), g é a aceleração da gravidade e ρ_w é a densidade da água. Para a água em condição de temperatura a $20^\circ C$ considera-se os seguintes valores: σ (78,86 kPa); $\lambda= 0$; $|h|$ (cm).

A frequência de distribuição de poros por tamanho foi realizada através da primeira derivada da equação de Van Genuchten (1980), conforme descrito por Bonetti et al. (2019). Os dados foram analisados por meio

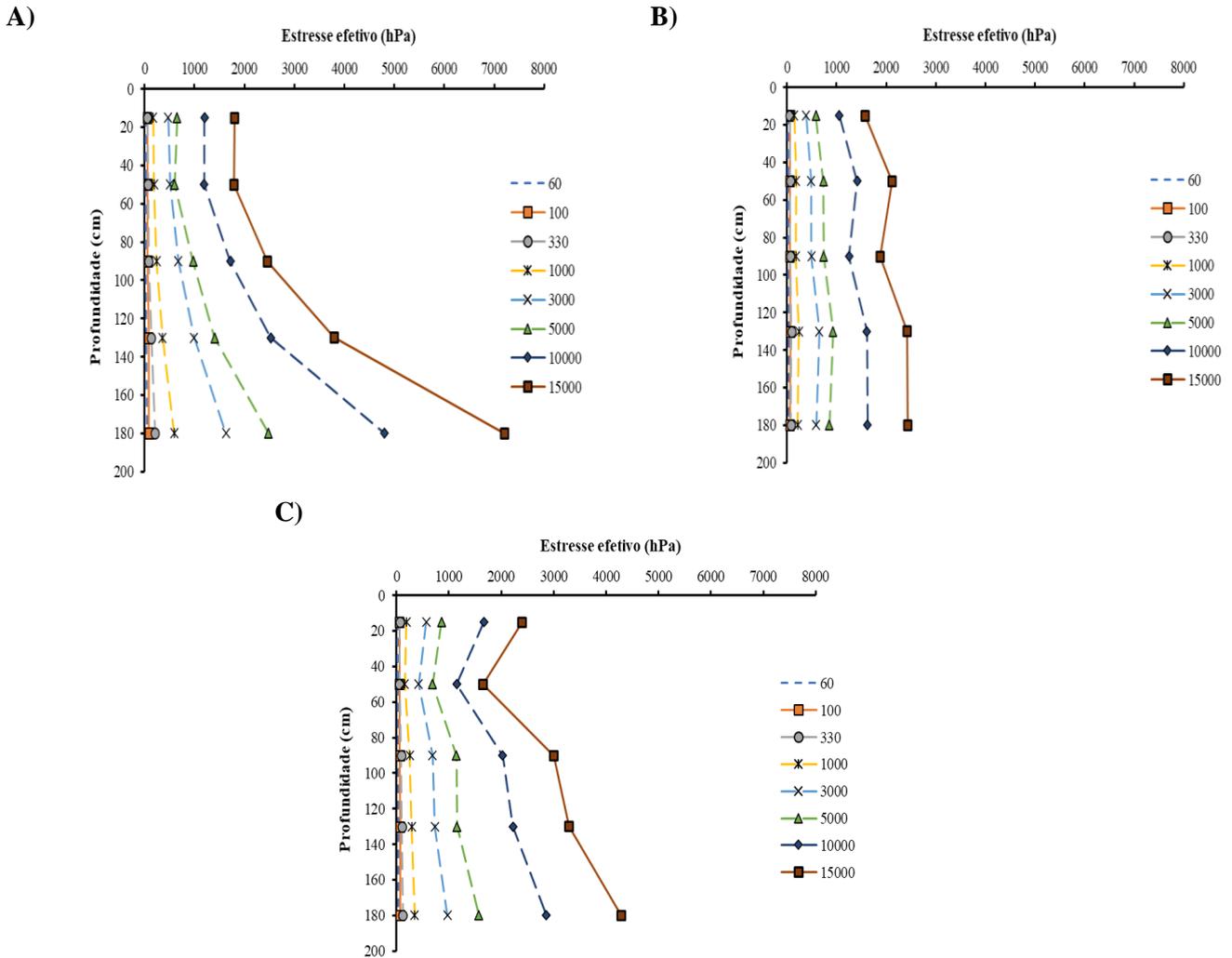
da estatística descritiva utilizando o software *Excel* e, apresentou-se a média aritmética correspondente ao σ' para cada camada de solo nos diferentes potenciais.

3. Resultados e Discussão

Os dados de σ' para as diferentes classes de solo encontram-se apresentados na Figura 4, verifica-se que para o solo PA7 o estresse efetivo correspondente aos potenciais de 10000 e 15000 hPa foi superior ao observado no PC3 e PA2.

Figura 4 - Estresse efetivo do solo em perfil de um A) Argissolo Vermelho Amarelo; B) Neossolo Quartzarênico Órtico; e C) Neossolo Quartzarênico Órtico Típico.

Figure 4 - Effective soil stress in profile of a A) Acrisol, B) Orthic Arenosols, and C) Typical Orthic Arenosols.



Fonte: Os autores (2022).
Source: The authors (2022).

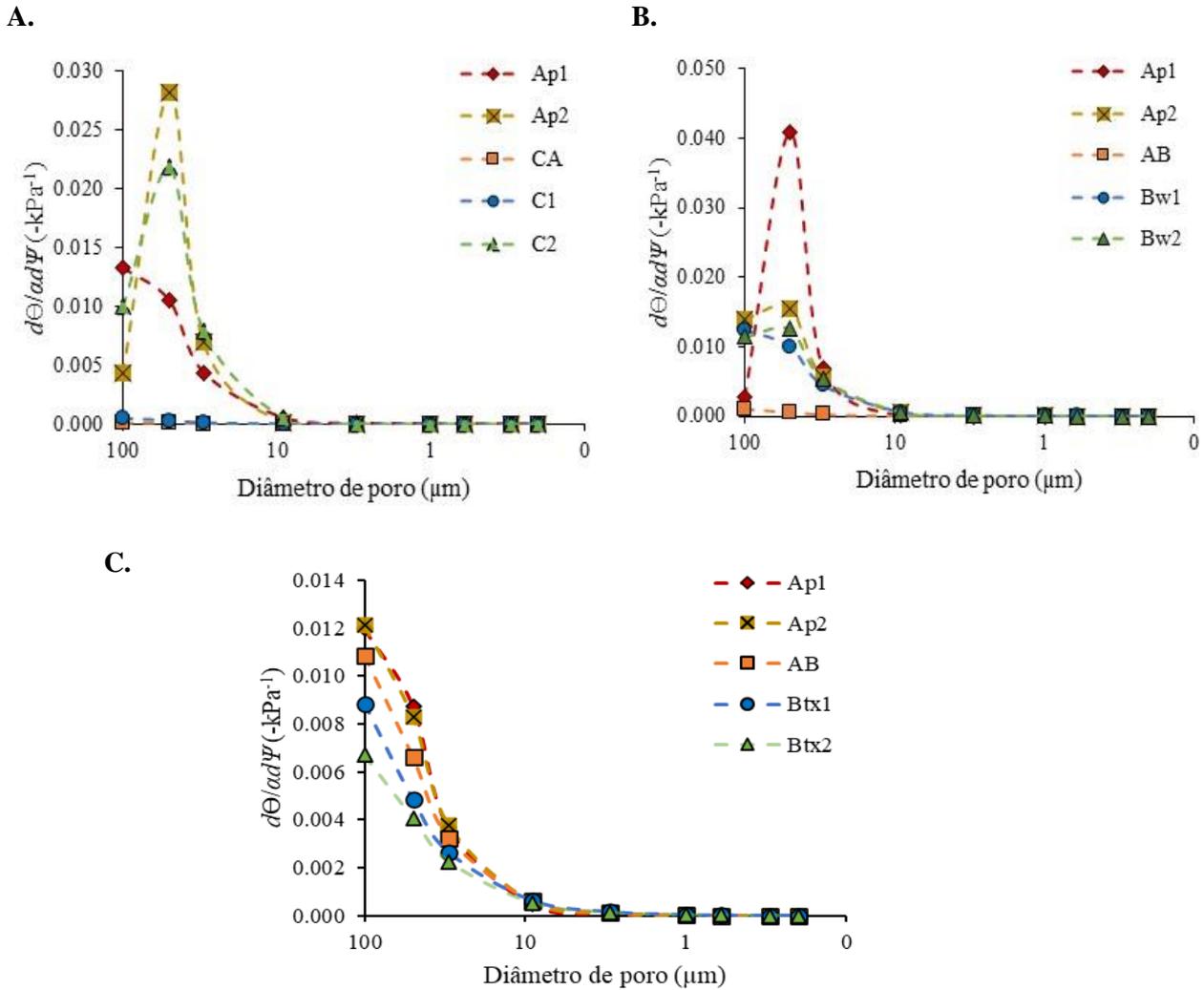
O Argissolo Vermelho (PA7) é mais suscetível ao estresse efetivo do solo (Figura 4A) que os Neossolos Quartzarênicos (PC3 e PA2, respectivamente) (Figura 4B e C). No PC3 o aumento nos valores de σ' podem estar relacionados ao incremento de argila nas camadas mais profundas do solo, como detectado por Silva et al. (2020). No PA7 os valores médios aproximaram-se de 8000 hPa, diferente dos demais tratamentos, onde o $\sigma' < 5000$ hPa. Esse resultado demonstra que o Argissolo é mais suscetível que os Neossolo ao aumento de RP provocado pela tensão de água no solo, tornando-se, portanto, prejudicial para o desenvolvimento das culturas. Conforme observado por Giarola (2003), nessa condição, as partículas finas como areia e argila se movimentam e rearranjam com as partículas de areia através de conexões estruturais com o processo de secagem do solo, que se torna mais proeminente com o aumento do potencial matricial do solo. Dessa forma, pode-se afirmar que a interação entre as partículas de areia com as de silte e argila em subsuperfície contribuíram para o aumento do σ' no Argissolo.

Salienta-se que, independentemente da classe de solo avaliada, as limitações provocadas pelo σ' foram observadas nos potenciais onde há menor ou nenhuma disponibilidade de água no solo, na faixa de valores onde predominam os microporos, que é de 10000 a 15000 hPa, este último equivalendo ao ponto de murcha permanente. É provável que os sistemas de integração lavoura-pecuária estejam de certa forma contribuindo para amenizar o σ' nos solos com maior concentração de areia, a exemplo do Neossolo Quartzarênico Órtico (Figura 4B) e do Neossolo Quartzarênico Órtico Típico (Figura 4C), inclusive em subsuperfície, contrastando com o Argissolo (Figura 4A). No Argissolo, o manejo deve ser realizado de forma que as condições do sistema de produção contribuam para amenizar o impacto negativo da compactação do solo, inclusive por meio do uso controlado de máquinas e implementos agrícolas. Como visto por Lacerda et al. (2022), dependendo do eixo, as máquinas e tratores agrícolas ocasionam estresse vertical no solo em camadas de até 42 cm de profundidade e esse efeito é mais pronunciado em solos com baixa cobertura ou expostos a pleno sol. Para caminhões e carretas, por exemplo, Jimenez et al. (2021), observaram que a transmissão da tensão por esses equipamentos é superior as tensões de pré-compressão do solo e pode ultrapassar a camada de um metro de profundidade.

Na Figura 5 está apresentada a frequência de distribuição de poros por tamanho para as três classes de solo avaliadas. No Solo PA7 (Figura 5A) é possível notar a frequência de poros com maior tamanho entre 100 e 10 μm para os horizontes Ap2, C2 e Ap1. Os demais horizontes desse perfil (PA7) C1 e CA, não apresentaram expressividade na distribuição de poros por tamanho, indicando que essas camadas apresentam limitações para a disponibilidade de água e aeração do solo. Os maiores picos de frequência de tamanho de poros foram observados no potencial equivalente a 50 μm (Figura 5A), sendo diferente apenas do perfil PA2, que apresentou um comportamento distinto (Figura 5C).

Figura 5 – Frequência de distribuição de poros por tamanho de um A) Argissolo Vermelho Amarelo; B) Neossolo Quartzarênico Órtico; e C) Neossolo Quartzarênico Órtico Típico.

Figure 5 - Frequency of pore size distribution A) Acrisol, B) Orthic Arenosols, and C) Typical Orthic Arenosols.



Fonte: Os autores (2022).

Source: The authors (2022).

Como observado por Silva et al. (2021) os solos da área experimental apresentaram maior frequência de poros caracterizados como macroporos e mesoporos, com destaque para último. No PA2 é possível notar esse comportamento devido a acentuada declinação das curvas entre 50 e 10 μm . Em se tratando de melhores condições físicas do solo, com base na frequência de distribuição, o perfil de solo PC3 (Figura 5B) apresentou um pico mais expressivo em superfície, no horizonte Ap1, seguido do horizonte Ap2. Esse resultado talvez tenha sido ocasionado pela distribuição do tamanho de partículas do solo como areia, silte e argila, que foi semelhante na camada de 0-36 cm de profundidade. Comportamento interessante diz respeito aos horizontes de transição, CA no PA7, AB no PC3 e AB no PA2. Nos PA7 e PC3 a frequência de macroporos foi baixa e

pouco perceptível nas curvas de frequência, indicando sérios problemas de aeração. Nessas camadas, as condições físicas relacionadas a distribuição de poros podem comprometer a penetração e o desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

No Argissolo (Figura 5C), observa-se maior frequência de macroporos no horizonte de transição, contudo, o volume total não é alto o suficiente para prover boas condições físicas ao solo. Para Silva et al. (2021) o aumento na frequência de poros de menor tamanho nas camadas mais profundas desses solos está relacionado ao aumento dos valores de D_s e permanência de criptoporos. Para Alencar et al. (2019), os poros com tamanho maior que 30 μm são fundamentais para o bom funcionamento físico do solo, pois apresentam estreita relação com o armazenamento de água na capacidade de campo (100 hPa). Por outro lado, a água armazenada nos microporos torna-se potencialmente indisponível às plantas quando a frequência de tamanho de poros com 0,6 μm é mais evidente que as demais classes de tamanho (Carducci et al. 2013). Para Moraes et al. (2016) e Moraes et al. (2018) a redução no excesso de macroporos favorece o aumento no volume de poros que armazenam água no solo, a exemplo dos microporos. É importante salientar que Silva et al. (2018) encontraram maior capacidade de água disponível nesses solos a partir do horizonte de transição entre a superfície e subsuperfície, com médias superiores a 10 mm. Essas informações corroboram com as curvas apresentadas na Figura 5 para as três classes de solo, onde a macroporosidade foi mais frequente na camada superficial do solo, de 0-20 cm de profundidade.

Foi visto uma frequência considerável de microporos e criptoporos nos solos estudados, inclusive nos horizontes mais profundos do solo. Segundo Gonçalves et al. (2010), os criptoporos são os poros intragregados, ou seja, são criados através da formação de agregados do solo, localizando-se em seu interior e são mais concentrados que as demais classes de poros do solo. Ainda segundo Gonçalves et al. (2010) os macroporos são responsáveis por controlar o teor de água na saturação, os microporos na capacidade de campo e os criptoporos o teor de água residual. Além do mais, o fluxo de água no solo é governado pelas características geométricas do espaço poroso da estrutura do solo, ou seja, função de distribuição do tamanho de poros (Zhai, Rahardjo e Satyanaga, 2018). A produção agrícola em solos arenosos é limitada pela retenção e disponibilidade de água, e em solos arenosos com predomínio de areia grossa restringe o crescimento das raízes e a absorção de nutrientes (Petersen et al. 2016). Apesar da distribuição de poros com tendência de predomínio de poros com tamanho <50 μm , Silva et al. (2021), avaliando a umidade ótima das três classes de solo analisadas por esse estudo, concluíram que a capacidade de drenagem desses solos é muito elevada, principalmente na camada de 0-100 cm de profundidade, onde a relação entre o limite de plasticidade e a capacidade de campo variou de 0,2 a 0,4 (adimensional). Para Dexter e Bird (2001), a capacidade de drenagem nesse solo é elevada e o teor de água que fica armazenado no mesmo após equilibrar a taxa de drenagem interna é adequado o suficiente para não ocasionar danos excessivos à estrutura do solo e às plantas.

Um leve aumento no estado de compactação de solos arenosos pode reduzir a taxa de infiltração em até 54% como observado por (Meek et al. 1992), isso decorre ao aumento na densidade do solo e da obstrução de canais naturais presentes nas camadas de solos arenosos não perturbadas. A areia apresenta correlação positiva com a taxa de infiltração de água no solo (Patle et al. 2018) e os valores são mais elevados quando o teor de areia grossa é superior às demais classes de tamanho de areia. Em estudo sobre a taxa de infiltração de água no solo arenoso, Liu et al. (2022) observaram que o teor de água no solo em uma toposequência aumento da encosta superior para a encosta inferior e o predomínio de macroporos na encosta superior e em superfície (0-20 cm de profundidade), favoreceu o aumento na taxa de infiltração inicial e constante da água no solo. Além do mais, Liu et al. (2022), observaram que os solos arenosos apresentam baixa capacidade de armazenamento de água em todo o perfil.

4. Conclusão

Apesar de estarem sob mesma condição de manejo, o Argissolo Vermelho mostrou ser mais suscetível ao aumento do estresse efetivo do solo quando comparado ao Neossolo Quartzarênico Órtico e o Neossolo Quartzarênico Órtico típico. O incremento do teor de argila nas camadas mais profundas do solo contribuiu para o aumento do estresse efetivo e, possivelmente da resistência à penetração do solo nos potenciais matriciais mais baixos, próximos à capacidade de campo. O Argissolo tem uma distribuição de poros mais homogênea que os solos Neossolos destacando-se uma maior frequência de poros de menor tamanho como os mesoporos, microporos e criptoporos. Esse estudo contribuiu para o entendimento do funcionamento físico do solo, norteando práticas de manejo sustentável e a utilização de sistemas de irrigação eficientes.

5. Agradecimentos

Ao Laboratório de Análises Físicas do Solo da Universidade Federal da Paraíba pela realização das análises de solo e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Solos Unidade Recife pela condução do ensaio.

6. Referências

- Alencar, T.L., Chaves, A.F., Freire, A.G., Nascimento, I.V., Queiroz, A.S., & Mota, J.C.A. (2019). Field capacity: Methodological approach by static and dynamic criteria. **Geoderma**, 353(1), 81-88.
- Benevute, P.A.N., Morais, E.G., Souza, A.A., Vasques, I.C.F., Cardoso, D.P., Sales, F.R., Severiano, E.C., Homem, B.G.C., Casagrande, D.R., & Silva, B.M. (2020). Penetration resistance: An effective indicator for monitoring soil compaction in pastures. **Ecological Indicators**, 117(1), 106647.
- Bennie, A.T.P., & Botha, F.J.P. (1986). Effect of deep tillage and controlled traffic on root growth, water-use efficiency and yield of irrigated maize and wheat. **Soil and Tillage Research**, 7(1-2), 85-95.
- Bonetti, J.A., Anghinoni, I., Gubiani, P.I., Cecagno, D., & Moraes, M.T. (2019). Impact of long-term crop-livestock system of the physical and hydraulic properties of an Oxisol. **Soil and Tillage Research**, 186(1), 280-298.
- Carducci, C.E., Oliveira, G.C., Zeviani, W.M., Lima, V.M.P., & Serafim, M.E. (2013). Bimodal pore distribution on soils under conservation management system for coffee crop. **Engenharia Agrícola**, 33(2), 291-302.
- Dexter, A.R., & Bird, N.R.A. (2001). Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. **Soil and Tillage Research**, 57(4), 203-212.
- Dhaliwal, J. K., Sagar, K.L., Chellappa, J., Sekaran, V., & Kumar, S. (2021). Labile soil carbon and nitrogen fraction under short and long-term integrated crop-livestock agroecosystems. **Soil Research**, 60(6), 511-519.
- Diniz, M.T.M., Araújo, F.H.R., & Medeiros, J.R. (2014). Geografia física do Rio Grande do Norte em atividade de campo: aspectos fisiográficos e de ocupação humana. **Revista Ensino de Geografia**, 5(9), 185-196, 2014.

Dourado Neto, D., Nielsen, D.R., Hopmans, J.W., Reichardt, K., & Bacchi, O.O.S. (2000). Software to model soil water retention curve (SWRC version 2.00). **Scientia Agricola**, 57(1), 191-192.

Giarola, N.F.B., Silva, A.P., Imhoff, S., & Dexter, A.R. (2003). Contribution of natural soil compaction on hardsetting soil. **Geoderma**, 113(1-2), 95-108.

Gonçalves, R.A.B., Gloaguen, T.V., Folegatti, M.V., Libardi, P.L., Lucas, Y., & Montes, C.R. (2010). Pore-size distribution in soils irrigated with sodic water and waste-water. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34(3), 701-707.

Jabro, J.D., & Stevens, W.B. (2022). Pore-size distribution derived soil-water retention characteristic curve as affected by tillage intensity. **Water**, 14(1), 3517-3527.

Jacomine, P.K.T., Silva, F.B.R., Formiga, R.A., Almeida, J.C., Beltrão, V.A., Pessoa, S.C.P., & Ferreira, R.C. (1971). **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Rio Grande do Norte** (1a ed.) Rio de Janeiro: Embrapa Solos.

Jimenez, K., Rolim, M.M., Gomes, I.F., Lima, R.P., Berrio, L.L.A., & Ortiz, P.F.S. (2021). Numerical analysis Applied to the study of soil stress and compaction due to mechanical sugarcane harvest. **Soil and Tillage Research**, 206(1), e104847.

King, A.E., Ali, G., Gillespie, A.W., & Wagner, R.C. (2020). Soil organic matter as catalyst of crop resource capture. **Frontier in Environmental Science**, 8(50), 1-8.

Klute, A. (1965). Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In: Blake, C.A. **Methods of soil analysis part I**. Madison: American Society of Agronomy.

Lacerda, K.S., Vargas, R.C., Ribeiro, K.M., Dias Junior, M.S., Ribeiro, K.D., & Abreu, D. (2022). Load-bearing capacity and critical water content of coffee plantation soil with management in full sun and shaded. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 46(1), e0220051.

Letey, G.J., Mullins, C.A., & Lal, R. (1993). Effects of soil properties on the strength of weakly structures tropical soils. **Soil and Tillage Research**, 28(1), 1-13.

Liu, Y., Guo, Y., Long, L., & Lei, S. (2022). Soil water behaviour of sandy soils under semiarid condition in the Shendong mining area (China). **Water**, 14(1), 2159-2172.

Los Rios, J., Poyda, A., Reinsch, T., Kiu, B.C., Taude, F., & Loges, R. (2022). Integrated crop-livestock system practices in forage and grain-based rotation in northern Germany: Potentials for soil carbon sequestration. **Agronomy**, 12(2), 338-351.

McCurdy, J.D., Small, Z.D., Tseng, T.M., Brosnan, J.T., & Reasor, R.H. (2022). Effects of soil compaction and moisture on the growth of *Juncus tenuis*. **International Turfgrass Society Research Journal**, 14(1), 776-782.

Meek, B.D., Rechel, E.R., Carter, L.M., Detar, W.R., & Urie, W.L. (1992). Infiltration rate of a sandy-loam soil: Effects of traffic, tillage, and plant roots. **Soil Science Society of American Journal**, 56(3), 908-913.

- Moraes, M.T., Debiassi, H., Carlesso, R., Franchini, J.C., Silva, V.R., & Luz, F.B. (2016). Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil and Tillage Research**, 155(1), 351-362.
- Moraes, M.T., Levien, R., Trein, C.R., Bonetti, J.A., & Debiassi H. (2018). Corn crop performance in a Ultisol compacted by tractor traffic. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 53(4), 464-477.
- Mualem, Y. (1986). Hydraulic conductivity of unsaturated soils: prediction and formulas. In: Klute, A. **Methods of soil analysis: I. Physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy.
- Patle, G.T., Sikar, T.T., Rawast, K.S., & Singh, S.K. (2019). Estimation rate from soil properties using regression model for cultivated land. **Geology, Ecology, and Landscapes**, 3(1), 1-13.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L., & McMahon, T.A. (2007). Updated world map of the Köpen-Geiger climate classification. **Hydrology Earth Systems Sciences**, 11(1), 1633-1644.
- Petersen, C.T., Hansen, E., Larsen, H.H., Hansen, L.V., Ahrenfeldt, J., & Hauggaard-Nielsen, H. (2016). Pore-Size distribution and compressibility of coarse sandy subsoil with added biochar. **European Journal of Soil Science**, 67(6), 726-736.
- Rosolem, L.A., Schiochet, M.A., Souza, L.S., & Whitacker, J.P.T. (1998). Root growth and cotton nutrition as affected by liming and soil compaction. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 29(1-2), 169-177.
- Santos, H.G., Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.C., Oliveira, V.Á., Lumberras, J.F., Coelho, M.R., Almeida, J.A., Araújo Filho, J.C., Oliveira, J.B., & Cunha, T.J. F. (2018). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** (5a ed.) Brasília, Embrapa.
- Silva, L.S., Laroca, J.V.S., Coelho, A.P. et al. (2022). Does grass-legume intercrop change soil quality and grain yield in integrated crop-livestock systems? **Applied Soil Ecology**, 170(1), e104257.
- Silva, P.L.F., Oliveira, F.P., Borba, J.O.M., Tavares, D.D., Amaral, A.J., & Martins, A.F. (2018). Solos arenosos para sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em Arez, Rio Grande do Norte. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 13(5), 581-589.
- Silva, P.L.F., Oliveira, F.P., Martins, A.F., & Pereira, W.E. (2021). Umidades ótima e limitante para o preparo de solos dos Tabuleiros Costeiros de Rio Grande do Norte. **Revista Científica Rural**, 23(2), 1-15.
- Silva, P.L.F., Oliveira, F.P., Martins, A.F., Pereira, W.E., Santos, T.E.D. & Amaral, A.J. (2020). Caracterização físico-hídrica de solos arenosos através da curva de retenção de água, índice S e distribuição de poros por tamanho. **Agrarian**, 10(50), 478-492.
- Smith, C.W., Johnston, M.A., & Lorentz, S. (1997). The effect of soil compaction and soil physical properties on the mechanical resistance of south African forestry soils. **Geoderma**, 78(1), 93-111.

Startsev, A.D., & McNabb, D.H. (2001). Skidder traffic effects on water retention, pore size distribution, and van Genuchten parameters of Boreal Forest soils. **Soil Science Society of American Journal**, 65(1), 224–231.

Stock, O. & Downes, N.K. (2008). Effects of additions of organic matter on the penetration resistance of glacial till for the entire water tension range. **Soil and Tillage Research**, 99(1), 191-201.

Teixeira, P.C., Donagemma, G.K., Fontana, A., & Teixeira, W.G. (2017). **Manual de métodos e análises de solo** (1a ed.) Brasília, Embrapa.

Van Genuchten, M.Th. (1980). Aclosed-forma equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, 44(5), 892-898.

Wang, M., He, D., Shen, F., Huang, J., Zhang, R., Liu, W., Zhu, M., Zhou, L., Wang, L., & Zhou, Q. (2019). Effects of soil compaction on plant growth, nutrient absorption, and root respiration in soybean seedlings. **Environmental Science and Pollution Research**, 26(4), 22835-22845.

Whalley, W.R., Harrison, L., Clarck, L., & Wing, D.J.G. (2005). Use of effective stress to predict the penetrometer resistance of unsaturated agricultural soils. **Soil and Tillage Research**, 84(1), 18-27.

Yost, J.L., & Hartemink, A.E. (2019). Soil organic carbon in sandy soils: A review. **Advances in Agronomy**, 158(1), 217-310. doi.org/10.1016/bs.agron.2019.07.004

Zhai, Q., Rahardjo, H., & Satyanaga, A. (2018). A pore-size distribution function-based method for estimate of hydraulic properties of sandy soils. **Engineering Geology**, 246(1), 288-292.