

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

INFLUÊNCIA DA UMIDADE SUPERFICIAL DO SOLO NA RESISTÊNCIA MECÂNICA À PENETRAÇÃO DO SOLO EM DIFERENTES ESTÁGIOS DE REGENERAÇÃO NATURAL

Luara Castilho¹; Leonardo Balbinot¹& Kelly Cristina Tonello²

Abstract: Soil compaction restricts various ecosystem services, as it influences soil quality, aeration and respiration, as well as plant access to water and nutrients. Therefore, it is an issue of great environmental importance. This study aims to compare soil compaction through Soil Penetration Resistance (SPR) in three forest strata, each at a different stage of natural regeneration, also comparing the month with the highest (October) and lowest (April) surface soil relative humidity. The study was conducted in the Cerrado biome, within a Private Natural Heritage Reserve (RPPN) in Brotas – SP. After collecting data from the three plots of each treatment, the average for each treatment was used to verify statistical differences in SPR between treatments and between months. The correlation between these factors was found to be inversely proportional. The results showed that October had lower SPR values across all treatments, with the youngest regeneration stage showing 30–40% higher soil compaction in April. These differences were mitigated in October due to higher soil moisture, with SPR values being 20–30% higher in the more compacted treatment compared to the others. Therefore, more developed forests indeed exhibit lower compaction, and the differences between younger forests are reduced — that is, SPR values decrease with higher surface soil moisture.

Resumo: A compactação do solo restringe diversos serviços ambientais, pois a mesma exerce influência na qualidade, aeração e respiração do solo, acesso a água e nutrientes pelas plantas, sendo, portanto, um tema de extrema importância ambiental, o presente trabalho vem comparar a compactação do solo através da Resistência Mecânica à Penetração do solo (RMP) em 3 estratos florestais, cada um em um estágio de regeneração natural, comparando ainda entre o mês com maior (outubro) e o mês com menor (abril) umidade relativa superficial do solo. O estudo foi realizado no bioma Cerrado em uma Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN) em Brotas – SP, após a coleta de dados nas 3 parcelas de cada tratamento, foi utilizada a média de cada tratamento para verificar que havia diferenças estatísticas da RMP entre os tratamentos e entre os meses e que a correlação entre eles era inversamente proporcional, os resultados mostraram que o mês de outubro apresentou menores valores de RMP em todos tratamento, sendo o tratamento mais novo com solo mais compactado 30 a 40% em abril, diferenças amenizadas com a maior umidade em outubro apesentando valores de RMP em 20 a 30% maiores do que os demais tratamentos. Portanto, florestas mais desenvolvidas possuem de fato menor compactação e a diferença entre as florestais mais jovens é amenizada, ou seja, menores valores de RMP com maiores umidades superficiais do solo.

Palavras-Chave – Cerrado, Compactação do solo, Umidade do solo.

1) Afiliação: Universidade Federal do Paraná (UFPR), Avenida Prefeito Lothário Meissner, 632, Curitiba-PR. luaracastilho@ufpr.br.
2) Afiliação: Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Km 110 - Rod. João Leme dos Santos, Sorocaba-SP.

INTRODUÇÃO

De acordo com Krzic *et al.* (2004) o processo de rigidez do solo, reduzindo a porosidade e permeabilidade ao aumentar a densidade, é conhecido como a compactação do solo. Sendo resultado de algum estresse externo e pode ser estimado através da densidade do solo ou da resistência a penetração no solo.

A resistência à compactação e a trafegabilidade possuem grande influência do estoque de água no solo [Greacen e Sands (1980)], podendo ainda reduzir a respiração do solo [Conlin e Van Den Driessche (2000); Cambi *et al.* (2017)] causando acúmulo de CO₂ no mesmo, (Conlin e Van Den Driessche (2000); Goutal *et al.* (2012); Cambi *et al.* (2017)], consequentemente, reduzindo a atividade microbiana, e respiração da raiz, aumentando espaços anaeróbicos, [Torbert e Wood (1992)], além de causar significativas mudanças na estrutura do solo, [Bolat *et al.* (2016); Cambi *et al.* (2017)].

Cambi *et al.* (2017), ao estudarem as restrições do crescimento de plantas e regeneração natural devido a compactação do solo, concluíram que os principais efeitos negativos foram nas raízes, em especial no comprimento da raiz principal, portanto limitando o acesso a água e nutrientes, principalmente o nitrogênio, devido às raízes mais curtas, sendo, portanto, provavelmente um fator limitante ao crescimento das plantas. [Greacen e Sands (1980)].

Devido a importância da qualidade, estrutura, aeração e respiração do solo para o bom desenvolvimento de florestas gerando serviços ambientais, o presente trabalho teve como objetivo estudar a compactação do solo em florestas em diferentes estágios de regeneração natural no mês com menor umidade superficial do solo (abril) e no mês de maior (outubro) através da Resistência Mecânica a Penetração (RMP).

MATERIAL E MÉTODOS

O Presente trabalho foi desenvolvido em uma Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN) da International Paper localizada no município de Brotas – SP, uma área com 812,24 hectares (ha) localizada entre as coordenadas 22°11'19" – 22°12'53" S e 48°7'3" – 48°7'19" O., pertencente à bacia hidrográfica Lagoa Seca, inserida no bioma Cerrado. O clima da região segundo a classificação de Koppen é Cwa caracterizado por verões úmidos e invernos secos, o solo é arenoso, classificado como Neossolo Quartzarenico. [De Almeida *et al.* (1981); EMBRAPA (2006)].

Foram instaladas 9 parcelas nessa área, sendo 3 em cada tratamento com diferentes estágios de regeneração natural: 5 anos, 9 anos e 45 anos de regeneração, cada parcela é de 20m x 20m, totalizando 400m² separadas por 10 metros lineares entre cada. Em cada parcela, foram coletados 3 pontos amostrais aleatórios de resistência mecânica à penetração do solo em cada mês, totalizando 9 amostras por parcela, de forma que foi gerada a média de cada parcela e com essas 3 parcelas, a média de cada tratamento A com 45 anos (TA), B com 9 anos (TB) e C com 5 anos (TC).

A fim de comparação entre a resistência à penetração do solo entre a situação de maior e menor umidade do solo para cada tratamento, foram escolhidos os meses abril o qual apresentou menor umidade superficial relativa do solo em todos os tratamentos (TA=9,8%, TB=6,3%, TC=4,3%) e outubro que apresentou maior umidade em todos os tratamentos (TA=19,9%, TB=17,2%, TC=13,8%), dentro do período de um ano de medição.

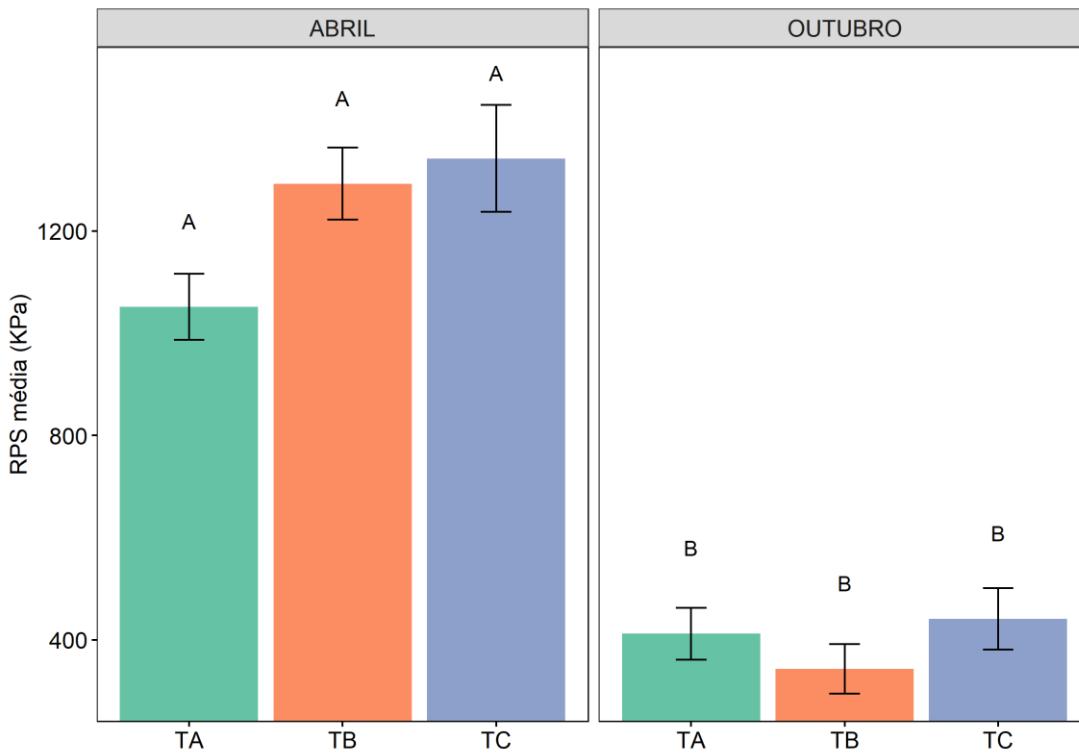
Foi utilizado o Medidor Eletrônico de Compactação do Solo modelo PLG1020 da marca Falker para a obtenção de dados numéricos relativos à compactação em diferentes camadas do solo, até 60 centímetros (cm) de profundidade através da resistência mecânica no processo de penetração através do equipamento.

Após a coleta de dados, eles foram transferidos para o software PenetroLOG da Falker, onde foram apresentados em forma de gráfico apresentando uma pressão exercida em kPa em cada centímetro do solo pelo equipamento, esses dados foram transferidos para o software Excel do pacote Office para a verificar a diferença estatística entre os tratamentos (TA, TB e TC) e os meses (abril e outubro) através de Análises de variância (ANOVAs) e a correlação de Pearson entre os dados (r).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação a umidade entre os meses avaliado, foi encontrado diferença significativa (valor- $P=7,18e^{-08}$), demonstrando a variação do teor de umidade avaliado (Figura 1). Através da Análise de variância, também foi encontrada diferença estatística a um nível de confiança de 95% entre os tratamentos em cada mês, abril (valor- $P=6,90764e^{-08}$) e outubro (valor- $P=0,018132467$) e ainda entre os meses em cada tratamento, TA (valor- $P=3,87299e^{-09}$), TB (valor- $P=2,67054e^{-13}$) e TC (valor- $P=1,23329e^{-08}$) representados pelo valor- P menor do que o erro de 0,05. Analisando a figura 1, nota-se a diferença de comportamento da RMP entre os meses abril e outubro para todos os tratamentos.

Figura 1 – Resistência Mecânica à Penetração (RMP) em função dos meses de abril (US média de 6,8%) e outubro (US média de 17%). TA=Tratamento A (45 anos), TB = Tratamento B (9 anos), TC= Tratamento C (5 anos).



Foi ainda entrada uma correlação de $r=-0,591$ entre a umidade relativa do trato superior do solo (US) e a Resistência mecânica à penetração do solo (RMP), portanto existe uma correlação inversamente proporcional, aumentando a RMP enquanto houver a redução da US.

No mês abril (Figura 2), com menores valores de umidade superficial do solo, é possível observar que a resistência aumenta de maneira mais gradativa com picos na faixa de 30 a 52 cm de profundidade enquanto no mês outubro (Figura 3), os picos estão na faixa de 8 a 20 cm de

profundidade sendo que após esta faixa, a resistência apenas tende a reduzir a valores realmente baixos até os 30 cm de profundidade. Observa-se ainda que os picos de resistência em abril foram maiores que os de outubro, a RMP de abril foi 17,76%, 27,70% e 33,57% maiores para os tratamentos A, B e C respectivamente.

Figura 2 – Resistência Mecânica à Penetração (RMP) em função da profundidade do solo (cm) no mês de abril.

TA=Tratamento A (45 anos), TB = Tratamento B (9 anos), TC= Tratamento C (5 anos).

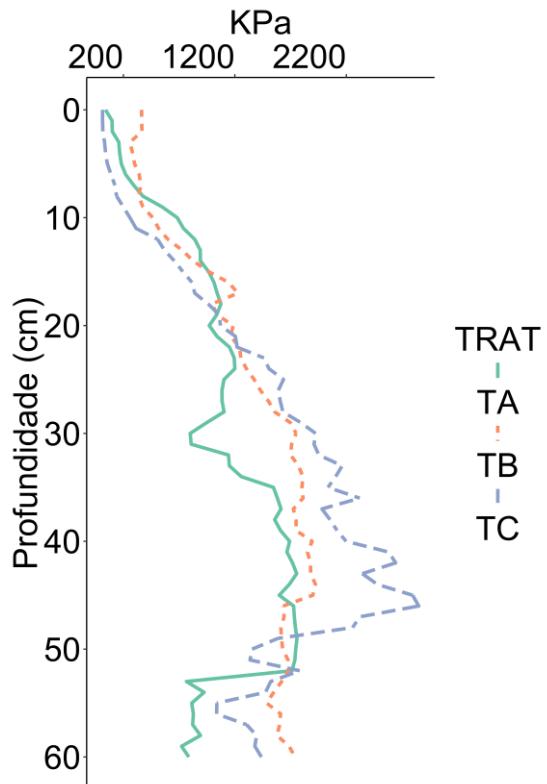
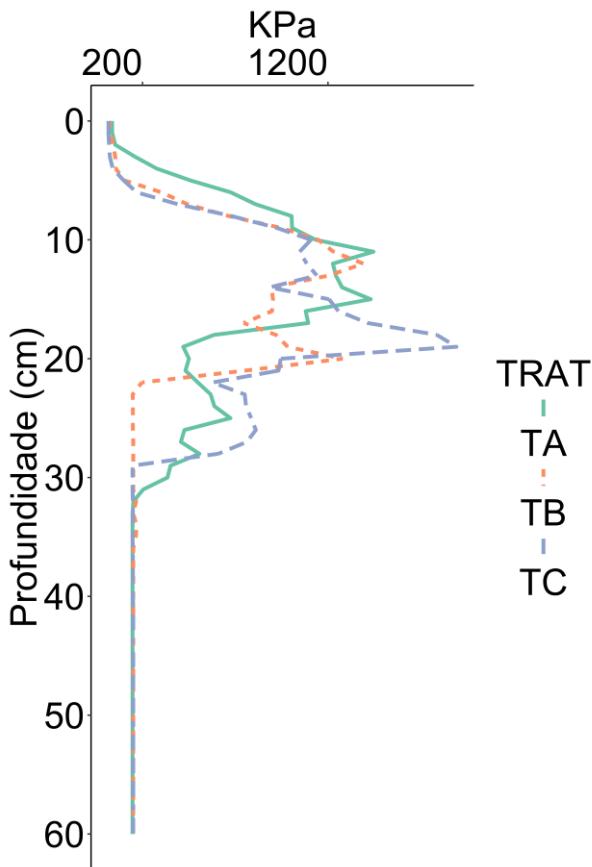


Figura 3 – Resistência Mecânica à Penetração (RMP) em função da profundidade do solo (cm) no mês de outubro.

TA=Tratamento A (45 anos), TB = Tratamento B (9 anos), TC= Tratamento C (5 anos).



Observa-se ainda que, em ambos os meses o tratamento C obteve os maiores valores de RMP, portanto, o mais compactado, sendo este 38,33% maior que o TA e 32,50% maior do que TB em abril e 23,65% maior que TA e 26,53% maior do que TB em outubro, ou seja, apesar da diferença da RMP no TC ser maior que os demais tratamento em ambos os meses, verifica-se a redução da diferença do TC para o TA e TB quando a umidade relativa da superfície do solo é mais elevada, portanto reduzindo a dificuldade de penetração no solo devido à compactação.

Bayat *et al.* (2017) encontraram resultados parecidos ao do presente trabalho, tendo em vista que a área representada por baixa densidade de vegetação (encostas do sul do Iran), portanto similar ao tratamento C, obtiveram resultados que mostraram maiores valores de RMP ao reduzirem o conteúdo de água no solo, segundo os autores, o resultado pode ser explicado devido ao aumento das forças de coesão ao reduzir a umidade do solo.

Krzic *et al.* (2004), realizaram um estudo comparando a compactação do solo, através da RMP em três áreas em Bissett Creek, Canadá, os resultados obtidos indicam a importância de restringir o uso de máquinas pesadas para extração de madeira em épocas em que o conteúdo de água no solo é baixo. Filho *et al.* (2024) ainda avaliando também a resistência a penetração do solo em sistemas de plantio direto verificaram que a resistência a penetração do solo menor se relacionou com maiores valores de umidade do solo. Portanto, também similar ao presente trabalho que obteve resultados menores de RMP em solos mais úmidos.

CONCLUSÕES

Observou-se diferença significativa na compactação de áreas de floresta a 5, 9 e 45 anos de regeneração natural, bem como diferença significativa de compactação quando a umidade superficial do solo é menor (abril) e quando é maior (outubro) na região do Cerrado em solo arenoso. Notou-se ainda a correlação inversamente proporcional, que por sua vez, reduziu a compactação conforme aumentou da umidade superficial do solo, efeito esse confirmado nos 3 tratamentos ao apresentarem RMP menor em outubro em relação a abril 17,76%, 27,70% e 33,57% respectivamente nos tratamentos A, B e C.

Os resultados concluíram ainda que o tratamento com menor tempo de regeneração apresentou valores na faixa dos 30% maiores que os demais tratamentos em estágios mais avançados de regeneração natural no mês de abril, contudo, essa diferença foi reduzida para próximo de 20% no mês de outubro devido a maior umidade do solo.

Portanto, esse trabalho chega à conclusão final de que as áreas em estágios mais avançados possuem menor compactação favorecendo o crescimento de mais árvores, entretanto a diferença para as áreas em estágio mais jovens de regeneração pode ser reduzida devido ao aumento da umidade superficial do solo.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis (PPGPUR), à Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), à empresa Sylvamo pelo acesso e permissão de uso de uso RPPN e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro que possibilitou a execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- BAYAT, H.; SHEKLABADI, M.; MORADHASELI, M.; EBRAHIMI, E. (2017). *"Effects of slope aspect, grazing, and sampling position on the soil penetration resistance curve"*. Geoderma, v. 303, n. May, pp. 150–164.
- BOLAT, I.; MELEMEZ, K.; OZER, D. (2016). *"The influence of skidding operations on forest soil properties and soil compaction in Bartın, Turkey"*. European Journal Forest English, v.1, n.1, pp. 1–8.
- CAMBI, M.; HOSHIKA, Y.; MARIOTTI, B.; PAOLETTI, E.; PICCHIO R.; VANANZI, R.; MARCHI. (2017). *"Compaction by a forest machine affects soil quality and Quercus robur L. seedling performance in an experimental field"*. Forest Ecology and Management, v. 384, pp. 406–414.
- CONLIN, T. S. S.; VAN DEN DRIESSCHE, R. (2000). *"Response of soil CO₂ and O₂ concentrations to forest soil compaction at the Long-term Soil Productivity sites in central British Columbia"*. Canadian Journal Soil Science, pp. 625–632.
- DE ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y., NEVES, B. B. DE B.; FUCK, R. (1981). *"Brazilian structural*

provinces: An introduction". Earth-Science Reviews, v. 17, n. 1–2, pp. 1–29.

EMBRAPA, E. B. D. P. A. (2006). *Sistema brasileiro de classificação de solos Centro Nacional de Pesquisa de Solos* (Rio de Janeiro, RJ). 306 p.

FILHO, S. V. DE P.; TAVARES, R. L. M.; FERREIRA, C. J. B.; SANTOS, G. O.; NASCIMENTO, H. L. B. (2024). "Variation in soil penetration resistance as a function of soil moisture under crop management systems". *Revista Ciência Agronômica*, v. 55, e20238683.

GOUTAL, N.; PARENT, F.; BONNAUD, P.; DEMAISON, J.; NOURRISSON, G.; EPRON, D.; RANGER, J. (2012). "Soil CO₂ concentration and efflux as affected by heavy traffic in forest in northeast France". *European Journal of Soil Science*, v. 63, n. 2, pp. 261–271.

GREACEN, E. L.; SANDS, R. (1980). "Compaction of forest soils: A review". *Australian Journal of Soil Research*, v. 18, n. 2, pp. 163–89.

KRZIC, M.; PAGE, H.; NEWMAN, R.; BROERSMA, K. (2004). "Aspen regeneration, forage production and soil compaction on harvested and grazed boreal aspen stands". *Journal of Ecosystems and Management*, v. 5, n. 2, pp. 30–38.

TORBERT, H. A.; WOOD, C. W. "Effects Of Soil Compaction And Water-Filled Pore Space On Soil Microbial Activity And N Lossescommun". *Soil Sci. Plant Anal.* Disponível em: <https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/60100500/csr/ResearchPubs/torbert/torbert_92d.pdf>. Acesso em: 9 maio. 2019.