

Atributos físicos do solo após dez anos da colheita da madeira em concessão florestal na Amazônia Sul-Ocidental indicam compactação

Gean Paulino Montagnolli^{1*}, Carolaine Maia de Souza², Kennedy Carvalho Santos², Vinicius Lima Pereira³, Marta Silvana Volpato Scoti⁴

¹Mestrando pelo Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Rolim de Moura, Rondônia, Brasil. ²Graduado(a) pela Universidade Federal de Rondônia, Curso de Bacharel em Engenharia Florestal, Rolim de Moura, Rondônia, Brasil. ³Técnico de Laboratório de Química e Solos na Universidade Federal de Rondônia, Rolim de Moura, Rondônia, Brasil. ⁴Professora da Universidade Federal de Rondônia, Departamento de Engenharia Florestal, Rolim de Moura, Rondônia, Brasil. *geanpaulinom@gmail.com

Recebido em: 24/09/2023

Aceito em: 24/05/2024

Publicado em: 31/07/2024

<https://doi.org/10.29327/269504.6.1-20>

RESUMO

O artigo avalia os atributos físicos do solo em diferentes períodos após o término das atividades exploratórias em manejo florestal sustentável. O estudo foi realizado nas Unidades de Manejo Florestal III e IV na Floresta Nacional do Jamari/RO. Foram estudadas duas Unidades de Produção Anuais (UPA) em diferentes períodos de exploração (2011 e 2022), em cada UPA foi escolhido de forma aleatória uma estrada secundária e ao longo dessa estrada foi realizada a coleta de solo em 10 pátios de estocagem, assim como coleta a 20 metros do pátio, na estrada secundária e pontos de floresta sem influência na UMF III. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Solos da Universidade Federal de Rondônia para avaliação dos atributos físicos. A textura do solo variou em franco argiloso arenosa à argilo arenosa, indicando solos suscetíveis a compactação. A densidade aparente média variou de 1,27 kg·dm⁻³ para floresta sem influência a 1,67 kg·dm⁻³ relativo aos pátios, a densidade de partículas apresentou valores variando de 2,60 a 2,99 kg·dm⁻³, a porosidade total apresentou valores próximos para todas as situações avaliadas. Por fim, as propriedades físicas do solo foram alteradas pelas atividades florestais e perceptíveis mesmo após dez anos da exploração florestal.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Recursos florestais. solos florestais.

Physical attributes of the soil after ten years of timber harvesting in a forest concession in the South-Western Amazon indicate compaction

ABSTRACT

The article evaluates the physical attributes of the soil in different periods after the end of exploratory activities in sustainable forest management. The study was carried out in Forest Management Units III and IV in the Jamari National Forest/RO. Two Annual Production Units (UPA) were studied at different periods of exploitation (2011 and 2022). In each UPA, a secondary road was chosen at random and soil was collected along this road in 10 stockyards, as well as 20 meters from the stockyard, on the secondary road and points of forest without influence in UMF III. The samples were sent to the Soil Laboratory at the Federal University of Rondônia for evaluation of the physical attributes. The soil texture varied from sandy loam to sandy clay loam, indicating soils susceptible to compaction. The average bulk density ranged from 1.27 kg·dm⁻³ for the forest without influence to 1.67 kg·dm⁻³ for the patios, the particle density ranged from

2.60 to 2.99 kg.dm⁻³, and the total porosity was close for all the situations evaluated. Finally, the soil's physical properties were altered by forestry activities and were noticeable even after ten years of logging.

Keywords: Sustainability. Forest resources. forest soils.

INTRODUÇÃO

A Flona do Jamari, localizada no estado de Rondônia, foi a primeira Unidade de Conservação receptora de concessão Florestal do Brasil. Em 2007, três lotes de manejo florestal foram licitados (SFB, 2007). No contrato de concessão, as empresas vencedoras seguem exigências imputadas pelo órgão gestor, e dentre elas, está contemplado o monitoramento dos impactos da exploração florestal (BRASIL, 2009), o qual gera critérios e indicadores que avaliam a sustentabilidade do manejo florestal e está previsto nas técnicas de exploração por impacto reduzido.

Na exploração por impacto reduzido o planejamento da produção florestal leva em consideração o mínimo de impacto possível na floresta remanescente, no solo e fauna (LAUFER et al., 2015), uma vez que, a colheita da madeira ocasiona implicações na autoecologia das espécies e no sistema florestal (MARTINS et al., 2003).

Um estudo feito na Flona do Tapajós em área de manejo florestal identificou a ação da colheita de madeira no meio físico, meio biológico e meio socioeconômico. No meio físico somente a variável ambiental solo apresentou maior impacto, em função do trânsito de maquinário em pátios, estradas e ramais de arraste (CARVALHO et al., 2019).

Os pátios de estocagem, também chamados de esplanadas, estradas (primárias e secundárias) e ramais de arraste fazem parte da infraestrutura dos planos de manejo. Os pátios são utilizados para o depósito e romaneio (determinação do volume) das toras que são abatidas na floresta. Nesses pontos é feita a supressão da vegetação e retirada da matéria orgânica (AMARAL et al., 1998). Os pátios são alocados ao longo das estradas secundárias (utilizadas apenas para escoamento da madeira) e por sua vez, os ramais de arraste (caminho usados para retirada da árvore abatida) são ligados a esses pátios (AMARAL et al., 1998). De acordo com Coelho (2019) as áreas mais afetadas pelas atividades de exploração florestal são as estradas secundárias e os pátios de estocagem devido ao intenso tráfego de maquinários pesados e arraste de toras, que favorecem o aumento da compactação do solo.

As áreas de solo compactado na floresta podem inibir a regeneração natural, afetar a densidade e crescimento de plantas, como também, degradação de suas propriedades físico-químicas (FREDERICKSEN; PARIONA, 2002; IAREMA, 2011; HIRAI et al.,

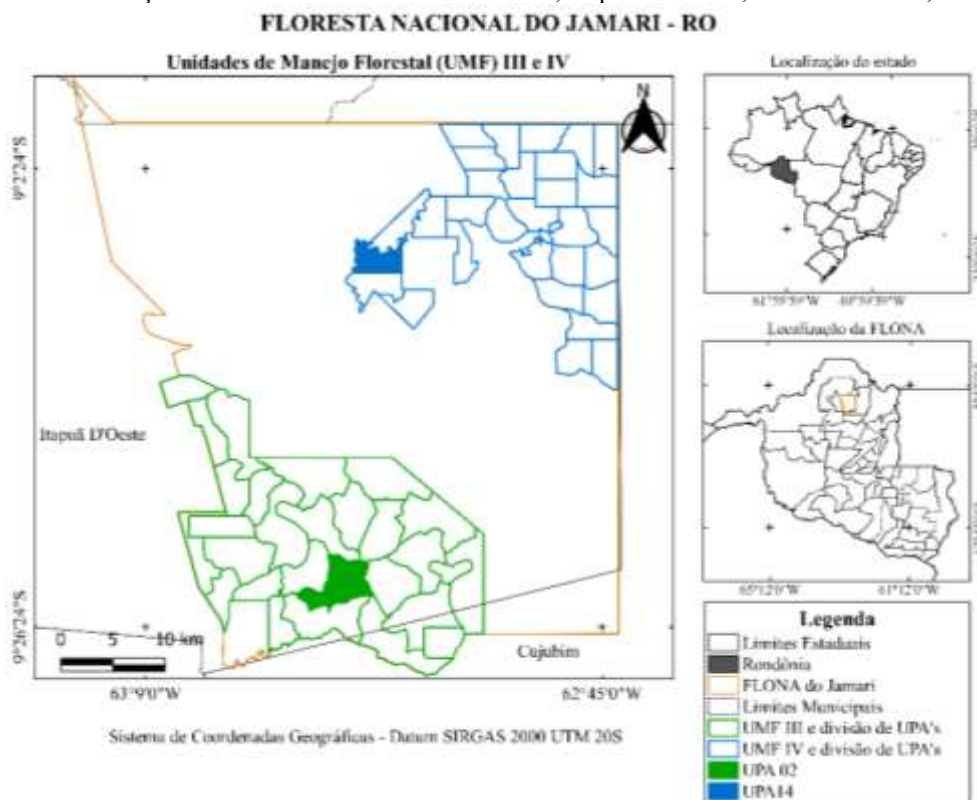
2012; SILVA et al., 2015). Estudos apontam que a recuperação da qualidade física do solo é um processo lento, podendo levar anos após a colheita, principalmente em ambientes de pátios de estocagem (COELHO, 2019). Segundo Rodrigues et al. (2010) entender a dinâmica do solo é fundamental para que haja compreensão das alterações que ocorrem nos atributos químicos e físicos após retirada da vegetação e prever sobre a dinâmica de colonização das clareiras e assim, reduzindo os impactos (BRITO SALES et al., 2023).

Diante do exposto, esse trabalho teve por objetivo avaliar os atributos físicos do solo (textura e densidade aparente) em pátios de estocagem e estradas secundárias após diferentes períodos do término das atividades de exploração na Flona do Jamari, RO.

MATERIAL E MÉTODOS

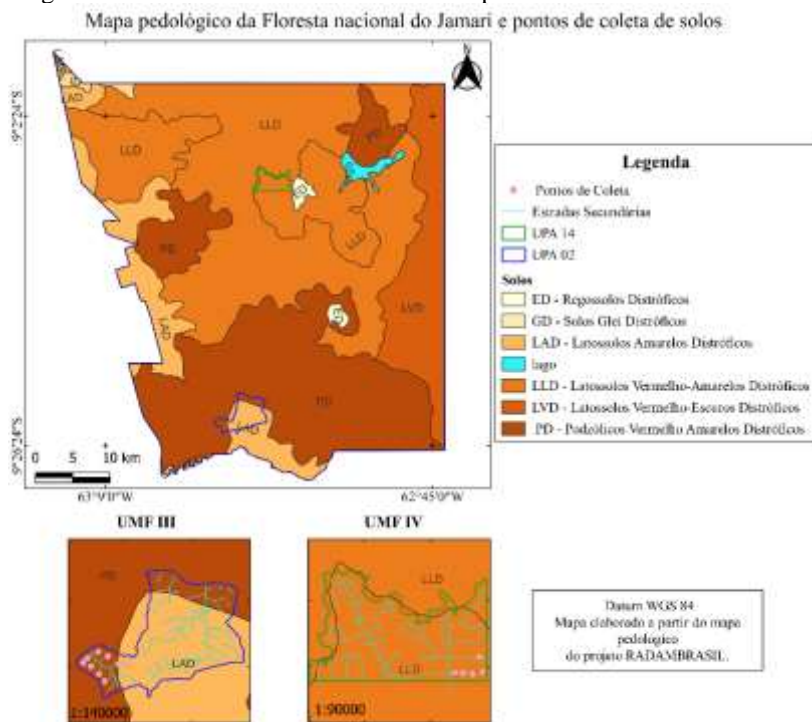
A presente pesquisa foi conduzida na Floresta Nacional (FLONA) do Jamari, Rondônia, sob regime de concessão florestal, nas Unidades de Manejo Florestal (UMF) III e IV (Figura 1). As coletas foram realizadas na Unidade de Produção Anual (UPA) 2 pertencente a UMF III e UPA 14 na UMF IV. Nas duas UPAs a exploração madeireira foi realizada utilizando técnicas de Exploração por Impacto Reduzido.

Figura 1 - Localização da UPA 2 e 14 nas UMF's III e IV, respectivamente, Flona do Jamari, Rondônia.



Nos pontos de coletas as ordens de solo ocorrentes são Latossolos e Podzólicos, variando entre Latossolos Amarelos Distrófico e Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico e Podzólicos Vermelho Amarelos Distróficos (Figura 2).

Figura 2 - Pedologia da Floresta Nacional do Jamari e dos pontos de coleta de solos.



As coletas de solo ocorreram em pátios de estocagem, estradas secundárias e área de floresta sem influência da EIR. Segundo a Norma de Execução nº 1 de 2007 – IBAMA, os pátios de estocagem têm o tamanho de 20 x 25 m, uma área útil de 500 m², são distribuídos sistematicamente em toda a área da UPA, geralmente em locais planos e bem drenados, onde existem poucas árvores de grande porte e, se possível em locais de clareira natural. As estradas secundárias possuem uma largura máxima de 4 m para o leito da estrada e a faixa de abertura uma largura máxima 6 m, sempre que possível é orientado que sejam feitas no sentido Leste-Oeste.

As coletas de solos foram realizadas em três ambientes distintos, sendo eles: A1: Área sem influência de exploração (controle); A2: Área explorada há 10 anos e; A3: Área que foi recém-colhida e finalizada as operações de colheita (Tabela 1).

Tabela 1 - Ambientes de realização das coletas de solo, sua Unidade de Produção Anual pertencente, taxa de corte, ano de exploração e data de coleta e número de amostras coletadas, na Flona do Jamari/RO.

Ambiente	UMF	UPA	Taxa de corte (m ³ ha ⁻¹)	Ano de Exploração	Data de coleta de solos	Nº de amostras
----------	-----	-----	--	-------------------	-------------------------	----------------

A1	III	2	-	-	06 a 13 de setembro de 2021	10
A2	III	2	15,90	2011	06 a 13 de setembro de 2021	10
A3	IV	14	21,94	2022	10 de Junho de 2022	5

Onde = UMF: Unidade de Manejo Florestal; UPA: Unidade de Produção Anual.

Para a realização das coletas na área explorada selecionou-se de forma aleatória, em cada UPA, uma estrada secundária e seus respectivos pátios. Em cada ambiente, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo nas profundidades de 0-5 cm; 5-10 cm; 10-15 cm e 15 a 20 cm. Nas estradas secundárias as coletas foram realizadas nos sulcos, locais onde se tem a maior influência da passagem das máquinas (Figura 3). Na sequência, as amostras foram devidamente identificadas e encaminhadas para o Laboratório de Solos do *Campus* de Rolim de Moura da Universidade Federal de Rondônia.

Figura 3 - Aspecto de estradas secundárias aberta para a exploração madeireira na Flona do Jamari, RO.



Fonte: Autor, 2022.

As análises dos atributos físicos do solo compreenderam a textura e densidade aparente do solo (método do anel volumétrico). As análises foram executadas de acordo com Embrapa (1997) e Ruiz (2003). De posse dos dados de densidade aparente de cada profundidade, gerou uma média geral considerando a profundidade de 0 a 20 cm.

Os dados de densidade aparente foram submetidos a teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variância (Teste de Levene). Atendendo a estes

pressupostos, realizou-se a análise de variância (ANOVA), e comparação de médias pelo Teste de Dunnett em nível de 5% de probabilidade. A organização e análise dos dados foram realizadas em planilha eletrônica e pelo programa R (R Team Core, 2019) com o pacote Agricolae (MENDIBURU, 2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A textura do solo variou em franco argiloso arenosa e argilo arenosa (Tabela 2). A textura influencia na dinâmica da adesão e coesão entre as partículas do solo, por conseguinte na resistência do solo à tração bem como a dinâmica da água no solo (CENTENO, 2017).

Tabela 2 - Caracterização da textura do solo nos ambientes florestais sem intervenção, pátios e estradas secundárias na Flona do Jamari, RO.

Ambiente	Local	Ano de Exploração	Areia	Silte g kg ⁻¹	Argila	Textura do Solo
A1	Floresta sem intervenção	-	647	82	271	Franco argiloso arenosa
A2	Estradas secundárias	2011	550	94	356	Franco argiloso arenosa
	Pátios		549	108	343	Franco argiloso arenosa
A3	Estradas secundárias	2022	581	51	368	Argilo Arenosa
	Pátios		602	49	349	Franco argiloso arenosa

Onde = A1: Área sem influência; A2: Área explorada há 10 anos e A3: Área que foi recém-colhida e finalizada as operações de colheita.

Fonte. Autor, 2022.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Florestas (2020) os solos com textura franco argilosa são aqueles que possuem uma mistura equilibrada de argila, areia e matéria orgânica. Eles são mais férteis do que os solos arenosos e possuem uma boa capacidade de retenção de água e nutrientes, o que pode ser favorável ao crescimento de algumas espécies florestais. No entanto, esses solos também podem apresentar problemas de compactação e fluxo se não forem gerenciados.

Naghdi et al., (2020) observaram em área de colheita de madeira que a densidade do solo e a profundidade do sulco apresentaram maiores aumentos em solo franco-argiloso do que em solo franco-arenoso, indicando que solos com textura média a fina são mais suscetíveis a compactação.

Os dados de densidade aparente do solo demonstraram que após dez anos da colheita, a densidade do solo ainda era superior a área controle indicando que o solo nesses ambientes da floresta, ainda não recuperou suas características físicas originais, mantendo as médias próximas às áreas de recém colheita (Tabela 3). De forma geral, foi

observada a tendência de aumento da densidade com a profundidade do solo, tanto no controle como nos ambientes com a influência do trânsito de máquinas.

Tabela 3 - Valores de Densidade aparente do solo (kg/dm³) observado para os ambientes de Área sem influência (A1), Área explorada há 10 anos (A2) e Área que foi recém-colhida e finalizadas as operações de colheita (A3) na Flona Do Jamari, RO.

Ambiente	Local	Profundidade (cm)			
		0-5	5-10	10-15	15-20
A1	Floresta sem intervenção	1.15	1.31	1.31	1.28
A2	Estradas secundárias	1.45*	1.56*	1.55*	1.53*
	Pátios	1.43*	1.56*	1.56*	1.60*
A3	Estradas secundárias	1.52*	1.58*	1.39ns	1.48*
	Pátios	1.46*	1.53*	1.52*	1.53*

*Significativo e superior ao tratamento controle, pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade; ns: Não significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade.

Nas profundidades 0-5 e 5-10 cm as estradas secundárias apresentaram médias de densidade aparente do solo superior aos pátios e a área controle. Nas demais camadas verificou-se maior densidade aparente do solo nos pátios de estocagem. As estradas secundárias recebem o tráfego de veículos durante todo o período de exploração, desde sua abertura pelos tratores esteiras, a passagem de carros de apoio para equipes em campo, passagem de máquinas pesadas skidders e pá-carregadeira na extração de madeira e passagem de caminhões no baldeio de toras.

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios para os atributos físicos do solo, considerando a camada 0-20 cm. Para a média geral de densidade aparente do solo, os pátios obtiveram as maiores médias em toda análise temporal (2011 e 2022), relacionando com a floresta sem influência.

Tabela 4- Atributos físicos dos ambientes analisados em diferentes ambientes em área de manejo florestal na Flona do Jamari, RO.

Ambiente	Local	Ano de Exploração	Densidade aparente	Densidade de Partículas	Pt	Macro	Micro
			kg dm ⁻³	m ³ m ⁻³			
A1	Floresta	-	1,27	2,60	0,344	0,121	0,223
A2	Estradas secundárias	2011	1,52	2,76	0,351	0,80	0,272
	Pátios		1,53	2,62	0,336	0,80	0,256
A3	Estradas secundárias	2022	1,64	2,99	0,426	0,73	0,352
	Pátios		1,67	2,95	0,433	0,72	0,361

Onde = A1: Área sem influência; A2: Área explorada há 10 anos e A3: Área que foi recém-colhida e finalizada as operações de colheita. Pt: Porosidade Total; Macro: Macroporosidade; Micro: Microporosidade.

Armond et al., (2019a) verificaram em estudo do solo em área de colheita madeira no estado do Amazonas, recuperação parcial do solo perturbado após 24 e 30 anos e que 30 anos não são suficientes para uma recuperação total do solo.

Para a média geral (0-20 cm) de densidade aparente do solo, os pátios obtiveram as maiores médias em toda análise temporal (2011 e 2022), relacionando com a floresta sem influência. Essa tendência também foi verificada por Iarema (2011) em estudo sobre qualidade física e química do solo em áreas de exploração florestal no Mato Grosso, onde foi constatado aumento da densidade do solo em pátios de estocagem em relação a mata de referência.

Na etapa pré-exploratória são construídas as estradas e pátios de estocagem, nesta fase, ocorre o revolvimento do solo e a passagem de máquinas pesadas (Figura 4), na etapa exploratória nos pátios verifica-se a movimentação de pá carregadeira de caminhões, além do depósito das toras até transporte para a indústria, esses aspectos podem contribuir para a maior densidade do solo e conseqüente, compactação. Segundo De Armond et al. (2019b) após único trator entrar e sair para a construção de trilha de arraste, o solo já apresenta aumento na densidade e resistência à penetração, limitando o crescimento das raízes.

Figura 4 - Movimentação de máquinas no pátio e depósitos de toras no pátio de estocagem durante colheita na Flona do Jamari.



Fonte: Autor, 2022.

Conhecer as características do solo, ter planejamento operacional (mapa de trafegabilidade e planejamento de rotas), e tipo de maquinário adequado são medidas que podem contribuir para o menor efeito de perturbações do solo durante a colheita da madeira (LABELLE et al., 2022), assim como respeitar as orientações dada pela legislação pertinente ao manejo florestal sustentável.

Reduzir o número de passadas do maquinário, principalmente os tratores auxiliam na redução da profundidade dos sulcos e conseqüente, compactação do solo (JOURGHOLAMI et al., 2011; ARMOND et al., 2019b). Starke et al. (2020), identificaram que a redução da pressão de enchimento dos pneus e maior número de eixos de um forwarder causou menor perturbação no solo após colheita da madeira. A umidade do solo é um fator importante a ser considerado. Allman et al. (2022) observaram distúrbios severos a muito severos onde a umidade instantânea do solo excedeu seus limites de plasticidade, confirmando que a umidade do solo é um preditor da perturbação do solo.

Em Rondônia a Portaria nº 36/2018/SEDAM-ASGAB, institui o período de restrição para as atividades de exploração florestal (corte, arraste e transporte) no período chuvoso, que fica compreendido entre 1º de janeiro e 31 de março de cada ano. Respeitar essas restrições são medidas importantes para mitigar os danos ao solo.

Diante do exposto, é possível perceber que a colheita da madeira, mesmo usando técnicas de exploração por impacto reduzido gera perturbações que persistem por curto, médio e longo prazo, necessitando aprimorar as técnicas de manejo em florestas tropicais. As concessões florestais, por englobarem áreas públicas com enfoque em pesquisa e produção, se tornam importantes nichos para as pesquisas.

CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo apontaram que após 10 anos do término da colheita de madeira a densidade do solo foi diferente da área de solo da floresta sem influência da passagem de maquinários e que este mostra indícios de compactação.

As áreas de concessões florestais em Rondônia são importantes para a promoção de pesquisa e de tecnologias que aprimorem as técnicas de manejo florestal sustentável.

Sugere-se para a área de estudo que antes da colheita busque-se conhecer às condições locais como tipo de solo, regime pluviométrico, declividade do relevo, usar maquinário com pressão de inflação adequada as condições texturais do solo e eixos e rodas adicionais em locais mais frágeis. Durante a colheita, uso de mapeamento em tempo

real cruzando dados de solo e previsões meteorológicas, principalmente em locais de solos mais suscetíveis a compactação, manter a manta florestal nos locais de trânsito quando possível. Após colheita, adicionar resíduos da colheita nos sulcos, assim como escarificação nesses locais. O treinamento das equipes é necessário para a boa condução das orientações técnicas.

É necessário a continuação do estudo buscando testar técnicas para minimizar os distúrbios no solo.

REFERÊNCIAS

ALLMAN, M.; JANKOVSKÝ, M.; MESSINGEROVÁ, V.; & ALLMANOVÁ, Z. Soil moisture content as a predictor of soil disturbance caused by wheeled forest harvesting machines on soils of the Western Carpathians. **Journal of Forestry Research**, v. 28, p. 283-289, 2017.

AMARAL, P., VERÍSSIMO, A., BARRETO, P., & VIDAL, E. Floresta para sempre: um manual para a produção de madeira na Amazônia. WWF, Brasília, DF (Brasil) **Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazonia**, Ananindeua, PA (Brasil), 1998.

BRASIL. **Resolução nº 406, de 02 de fevereiro de 2009**. Carlos Minc, Presidente do CONAMA Disponível em: <https://imac.ac.gov.br/web/wp-content/uploads/2022/legislacao/Conselhos/CONAMA/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20N%C2%B0%20406,%20DE%2002%20DE%20FEVE%20REIRO%20DE%202009.pdf>. Acesso em: 22 out. 2022.

CARVALHO, A. N. de; SCHULTZ DE CARVALHO, T. L. G.; GAMA, J. R. V. Impactos ambientais do manejo florestal comunitário na Floresta Nacional do Rapajós. **Revista Agroecossistemas**, v. 11, n. 1, p. 169-182, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v11i1.5714>

CENTENO, L. N.; GUEVARA, M. D. F.; CECCONELLO, S. T.; de SOUSA, R. O.; & TIMM, L. C. Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 4, n. 1, p. 31-37, 2017.

COELHO, S. L. **Banco de plântulas em áreas de exploração florestal de impacto reduzido na Amazônia Central**. 2019. 52 f. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019.

BRITO SALES, G.; FRAZÃO, L. A.; FERNANDES, L. A.; DE OLIVEIRA, J. C.; & VELOSO, M. D. D. M. Efeito da degradação sobre os atributos do solo em ecossistemas de veredas no cerrado de Minas Gerais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, 43. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 43, p. 1-11, 2023.

ARMOND, D.; EMMERT, F.; LIMA, A. J. N.; & HIGUCHI, N. Impacts of soil compaction persist 30 years after logging operations in the Amazon Basin. **Soil and Tillage Research**, v. 189, p. 207-216, 2019a.

ARMOND, D.; FERRAZ, J. B.; EMMERT, F.; LIMA, A. J. N.; & HIGUCHI, N. An assessment of soil compaction after logging operations in central Amazonia. **Forest Science**, v. 66, n. 2, p. 230-241, 2019b.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997.

FREDERICKSEN T. S.; & PARIONA, W. Effect of skidder disturbance on commercial tree regeneration in logging gaps in a Bolivian tropical forest. **Forest Ecology and Management**, v. 171, p. 223–230. 2002.

HIRAI, E. H.; De CARVALHO, C. J. R.; SILVA, J. N. M.; De CARVALHO, J. O. P.; DE QUEIROZ, W. T. Efeito da exploração florestal de impacto reduzido sobre a regeneração natural em uma floresta densa

de terra firme no município de Paragominas na Amazônia brasileira. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 95, p. 306-315, 2012.

IAREMA, A. A. Qualidade física e química do solo em áreas de exploração florestal no Mato Grosso. **Revista Árvore**, v. 35, p. 737-744, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS. **O que é manejo florestal?** 2020. Disponível em: <http://www.ibf.gov.br/o-que-e-manejo-florestal> . Acesso: 28 dez.2022.

JOURGHOLAMI, M.; & MAJNOUNIAN, B. Effects of wheeled cable skidder on rut formation in skid trail—a case study in Hyrcanian forest. **Journal of Forestry Research**, v. 22, p. 465-469, 2011.

LABELLE, E. R.; HANSSON, L.; HÖGBOM, L.; JOURGHOLAMI, M.; & LASCHI, A. Strategies to mitigate the effects of soil physical disturbances caused by forest machinery: a comprehensive review. **Current Forestry Reports**, v. 8, n. 1, p. 20-37, 2022.

LAUFER, J.; MICHALSKI, F.; PERES, C. A. Efeitos da exploração de impacto reduzido em vertebrados de médio e grande porte na Amazônia oriental. **Biota Neotropica**, v. 15, n. 2, 2015.

MARTINS, S. S.; COUTO, L.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. L. D. Efeitos da Exploração Seletiva em uma Floresta Estacional Semidecidual. **Revista Árvore**, v. 27, n. 1, p. 65-70, 2003.

MENDIBURU, F. **Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research - version 1.3.5**. R-Project, 2021. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>. Acesso em: 15 jun. 2022.

NAGHDI, R., SOLGI, A., LABELLE, E. R., & NIKOOY, M. Combined effects of soil texture and machine operating trail gradient on changes in forest soil physical properties during ground-based skidding. **Pedosphere**, v. 30, n. 4, p. 508-516, 2020.

RODRIGUES, A. B. C.; SCARAMUZZA, W. L.; SCARAMUZZA, J. F.; & ROCHA, F. Atributos Químicos em Solo sob Floresta Nativa e Capoeira. **Uniciências**, v. 14, n. 1, p. 9-24, 2010.

RUIZ, H. A.; FERREIRA, G. B.; PEREIRA, J. B. M. Estimativa da capacidade de campo de Latossolos e Neossolos Quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 389-393, 2003.

SFB (Serviço Florestal Brasileiro). Edital de licitação para concessão florestal: Concorrência 01/2007 Flona do Jamari. 28p., 2007. Disponível in: <https://www.florestal.gov.br/documentos/concessoes-florestais/concessoes-florestais-florestas-sob-concessao/flona-do-jamari/edital/189-edital-flona-jamari/file>. Acesso: 10 jun. 2022.

SILVA, G. F.; SANTOS, D.; SILVA, ALEXANDRE, P. S.; SOUZA, J. M. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste paraibano. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 25–35, 2015.

STARKE, M.; DERRON, C.; HEUBAUM, F.; ZIESAK, M. Rut depth evaluation of a triple-bogie system for forwarders—field trials with TLS data support. **Sustainability**, v. 12, n. 6412, p. 1-16. 2020.