

USO DA GLOMALINA PARA AVALIAR A QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DO SOLO DEGRADADO EM PROCESSO DE RECUPERAÇÃO AMAZÔNIA (RO)

Marcela Merides Carvalho¹

Felipe Hashimoto Fengler²

Regina Márcia Longo³

Admilson Irio Ribeiro⁴

Conservação de solos e Recuperação de áreas degradadas (RAD)

Resumo

Para recuperar áreas mineradas em floresta tropical além do estudo sobre os aspectos químicos e físicos, é necessária profunda compreensão sobre as propriedades microbiológicas para avaliação da qualidade ecossistêmica do solo. Considerando que o ecossistema brasileiro é dinâmico e complexo com características diversificadas é fundamental desenvolver novos indicadores ambientais que contribuam de forma abrangente com o processo de avaliação e restauração ecológica. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo quantificar as frações da proteína do solo relacionada à glomalina (facilmente extraível e total), avaliando sua relação em área degradada por mineração em processos de recuperação, localizada na Amazônia brasileira (RO). Foram selecionadas minas em diferentes níveis do processo de recuperação, com idade de 0 à 30 anos, além do ecossistema de referência (> 100 anos), a fim de identificar inter-relações entre classe textural e grau de desenvolvimento do solo ao longo do processo de recuperação. Os resultados demonstraram maior concentração de glomalina nas áreas em estágio avançado de recuperação com 30 anos (GEE 5.25 mg g⁻¹ e GT 12.09 mg g⁻¹), quando comparadas com as áreas mais jovens de 10 anos (GEE 2.44 mg g⁻¹ e GT 4.59 mg g⁻¹). Desta forma, nota-se que a condição ecossistêmica das áreas mineradas foi significativamente melhorada ao longo dos anos, apresentando atividade microbiológica ativa e demonstrando influencia positiva da glomalina no processo de recuperação ambiental, constituindo-se em um promissor indicador da qualidade ecossistêmica.

Palavras-chave: Qualidade do solo; Indicador ambiental; Terra degradada; RAD; Glomalina.

¹ Doutoranda em Ciências Ambientais no Instituto de Ciência e Tecnologia/Unesp Sorocaba, Departamento Gestão e Recuperação de Área Degradadas (RAD), marcela.merides@hotmail.com.

² Prof. Dr. Facens, Sorocaba - Departamento Engenharia Civil e Ambiental, felipe_fengler@hotmail.com.

³ Prof.^a Dra. Pontifícia Universidade Católica de Campinas PUC - departamento de Sustentabilidade, rmlongo@uol.com

⁴ Prof. Dr. Instituto de Ciência e Tecnologia/Unesp Sorocaba - Departamento RAD, admilson@sorocaba.unesp.br.

INTRODUÇÃO

Durante o processo de mineração, a vegetação e a camada superficial do solo são removidas alterando e comprometendo o funcionamento natural do solo, exigindo um manejo cuidadoso para minimizar impactos ambientais associados (KUMAR et al, 2018).

Estudos sobre restauração ecológica realizados em áreas mineradas na Amazônica Brasileira demonstram a importância da relação entre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo para avaliação da qualidade ecossistêmica (LONGO et al, 2011; RIBEIRO et al, 2016; FENGLER, 2017, CARVALHO et al., 2019). No entanto, existe um campo pouco explorado no que diz respeito à identificação de novos indicadores para a avaliação da qualidade microbiológica do solo em ecossistemas brasileiros.

Neste contexto, a Glomalina, uma glicoproteína produzida pelos fungos micorrízicos arbusculares (FMA), que atua na formação e estabilização do solo (WRIGHT; UPADHYAYA, 1996; LUNA et al., 2016), pode ser considerada útil dentro do sistema de indicadores para avaliação da qualidade do solo (SARAPAKTA et al., 2019; LIU et al., 2020). Desta forma o presente trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade microbiológica do solo através da quantificação da proteína do solo relacionada à glomalina, em área degradada por mineração, localizadas em floresta tropical na Amazônia brasileira (RO).

METODOLOGIA

A área experimental está localizada na Floresta Nacional Jamari-RO. É caracterizada por grande valor comercial para exploração devido a alta biodiversidade e abundância de reservas minerais. A área experimental foi subdividida de acordo com a classe textural e o tempo de manejo realizado no processo de recuperação (Tabela 1).

Tabela 1 - Descrição geral da Área de Estudo

Mina	Mina 1	Mina 2	Mina 3	Mina 3	Capoeira	Mata
Tempo/Manejo	0	10	20	30	50	> 100
Classe Textural	Siltílosa	Arenosa	Argiloso-Arenosa	Argilosa	Argilosa	Argilosa
Nível RAD	recém minerado	Inicial	Intermediário	Avançado	Sist. de Referência	Natural

A extração de Glomalina foi realizada a partir de amostras de solo seca, peneirada em 4 diâmetros diferentes (6.0 mm, 4.0 mm, 2.0 mm e 1.0 mm). O conteúdo de glomalina

facilmente extraível (PSRG-FE) foi extraído com citrato 20 mM, pH 7,0 e glomalina total (PSRG-T) com citrato 50 mM, pH 8,0. Posteriormente, para a quantificação do conteúdo de proteínas foi usado o corante de Bradford (WRIGHT;UPADHYAYA, 1998).

A análise estatística das diferenças entre os parâmetros de conteúdo de glomalina, textura e estágio de desenvolvimento, foi realizada a análise de variância (ANOVA). As médias foram comparadas pelo Teste Tukey ($\alpha < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir da quantificação da proteína do solo relacionada à glomalina facilmente extraível (PSRG-FE) demonstram que os valores médios na mina 1 (área recém-minerada em nível 0 de recuperação), não possui concentração da proteína relacionada PSRG-FE possível de ser quantificada, pois em todos os diâmetros, a mina 1 apresentou valores negativos, abaixo do limite de detecção. Por outro lado, as demais áreas em estágio inicial, intermediário e avançado de recuperação (Minas 2, 3 e 4) apresentaram valores crescentes no sentido do ecossistema de referência. A capoeira e a mata apresentaram os maiores valores para esse indicador, com médias variando de 5.97 a 7.64 mg g⁻¹ de solo (capoeira) e 5.31 à 8.26 mg g⁻¹ de solo (mata) (tabela 2). Por tanto, demonstram melhores condições do solo e equilíbrio do ecossistema nas áreas mais avançadas, pois solos sob floresta madura a atividade microbológica está ativa influenciando positivamente na produção de glomalina (KUMAR et al., 2018).

Tabela 2 – PSRG-FE mg g⁻¹ em diferentes tamanhos de agregados do solo de minas em diferentes estágios de recuperação, área de capoeira (CA) e mata (MA).

Diâmetro	PSRG-FE	Mina 1	Mina 2	Mina 5	Mina 6	CA	MA
1.0 mm	Média	-0.37	3.20	3.77	6.51	7.64	6.26
	DP	-0.22	0.48	0.67	0.49	0.31	0.41
	CV (%)	-16.99	15.02	7.57	7.47	4.16	4.94
2.0 mm	Média	-0.47	3.64	4.42	6.65	7.44	7.08
	DP	-0.40	0.25	0.64	0.35	0.60	0.58
	CV (%)	-18.52	6.93	14.43	5.22	8.06	8.26
4.0 mm	Média	-0.78	3.93	3.02	7.31	8.16	8.57
	DP	-0.36	0.55	0.59	0.45	0.68	0.80
	CV (%)	-14.56	13.98	19.56	12.33	9.53	12.16
6.0 mm	Média	-0.88	3.72	2.77	7.36	8.11	8.64
	DP	-0.03	0.18	0.08	0.85	0.60	0.37
	CV (%)	-13.26	4.88	3.06	11.59	8.38	4.84

Nos resultados obtidos para a proteína relacionada à PSRG-T (tabela 3), as minas 2, 3 e 4 apresentaram aumento gradual nos valores médios entre as áreas, desvio padrão com baixa dispersão e coeficiente de variação baixo dentro da faixa de normalidade (<15%). Os resultados demonstram grau de desenvolvimento positivo, atividade biológica alta e ativa, exceto na mina 1, que apresentou valores sempre negativos (Tabela 3).

Tabela 3 – PSRG-T (mg g^{-1}) em diferentes diâmetros de agregados do solo de minas em diferentes estágios de recuperação, área de capoeira (CA) e mata (MA).

Diâmetro	PSRG-T	Mina 1	Mina 2	Mina 5	Mina 6	CA	MA
1.0 mm	Média	-0.11	6.26	10.49	15.90	18.24	13.21
	DP	-0.09	0.41	0.53	0.52	0.38	0.24
	CV (%)	-18.18	5.64	5.09	3.26	2.11	1.80
2.0 mm	Média	-0.13	5.61	9.98	16.18	19.18	14.03
	DP	-0.14	0.34	0.34	0.84	0.47	0.70
	CV (%)	-10.40	6.12	3.40	5.17	2.43	4.97
4.0 mm	Média	-0.30	7.46	9.47	16.12	18.52	15.39
	DP	-0.22	0.76	0.39	1.41	0.94	1.67
	CV (%)	-17.15	10.23	4.11	8.76	5.09	1.82
6.0 mm	Média	-0.83	7.99	12.69	17.92	19.36	17.11
	DP	-0.13	0.51	0.66	0.81	0.68	1.44
	CV (%)	-16.10	7.22	5.20	4.50	3.49	8.39

Ao observar a tabela 2 e 3 notamos que as concentrações da PSRG-T e PSRG-FE aumentaram nas partículas de solo com maior diâmetro, o que é consistente com estudos anteriores, onde grandes macroagregados possuem a maior capacidade de acumulação de glomalina e são altamente correlacionados com a estabilidade agregada devido à contribuição da biomassa microbiana do solo (LIU et al., 2020). Isso porque a PSRG estabiliza os agregados do solo através de uma ação de "colagem" (LUNA et. al, 2016).

A interação tanto da PSRG-FE quanto da PSRG-T em relação ao tipo de textura possibilitou diferenciação das minas (tabela 3), demonstrando que o tipo textura do solo contribui diretamente na condição da produção da glomalina, devido à positiva correlação da glomalina com o teor de argila e negativa com o teor de areia (LUNA et al., 2016).

Tabela 3 - ANOVA para avaliar as diferenças entre textura em relação glomalina.

Textura	Siltiosa	Arenosa	Argilo arenosa	Argilosa	NATURAL
PSRG-FE	-0.4 e	3.67 d	5.38 c	6.21 b	7.22 a
PSRG-T	-0.21 d	6.95 d	12.85 c	15.64 b	18.54 a

*Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo Teste Tukey ($\alpha < 0,05$).

CONCLUSÕES

A proteína do solo relacionada à PSRG-T e PSRG-FE aumentou nas áreas com estágios mais avançados de recuperação, diferenciando o grau de desenvolvimento de solo minerado. Além disso, a PSRG variou significativamente em relação à textura do solo, sendo encontrada maior concentração em solos argilosos devido a sua interação positiva com esse tipo de textura. Com base nos resultados do presente estudo, a quantificação da glomalina pode consistir um potencial indicador na avaliação da qualidade microbiológica do solo e monitoramento do impacto ambiental.

AGRADECIMENTOS

Ao grupo de pesquisa do Instituto de Ciência e Tecnologia - ICTS / UNESP pelo apoio técnico.

REFERÊNCIAS

- CARVALHO, M.C., FENGLER, F.F., LONGO, R.M, RIBEIRO, A.I. **Evaluation of soil quality in recovery process in the Brazilian Amazon (RO) based on fuzzy logic**. International Journal of Latest Engineering and Management Research (IJLEMR) Vol. 04 – Issue 10 pp. 96-104, 2019.
- FENGLER, F.H.; BRESSANE, A.; CARVALHO, M.M.; LONGO, M. R.; RIBEIRO, A.I., 2017. **Forest restoration assessment in Brazilian Amazonia**. Ecological Engineering, p 93–99.
- KUMAR, S. SINGH, A.K. GHOSH, P. **Distribution of soil organic carbon and glomalin related soil protein in reclaimed coal mine-land chronosequence under tropical condition**. Science of the Total Environment 625 1341–1350, 2018.
- LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I.; MELO, W. J. **Physical and chemical characterization of the substratum of degraded areas by tin mining**. Bragantia [online], 64 (1), 101-107, 2005.
- LIU, H. WANG, X. LIANG, C; AI, Z. WU, Y; GUOBIN LIU. **Glomalin-related soil protein affects soil aggregation and recovery of soil nutrient**. Geoderma 357, 113921, 2020.
- LUNA, L., MIRALLES, I., ANDRENELLI, M., GISPERT, M., PELLEGRINI. **Restoration techniques affect soil organic carbon, glomalin and aggregate stability in degraded soils of a semiarid Mediterranean region**. Catena. 2016.
- RIBEIRO, A.I., LONGO, R.M., FENGLER, F.H., MEDEIROS, G.A.; BRESSANE, A., MELO, W.J. **Use of Self-Organizing Maps in the identification of different groups of reclamation sites in the Amazon Forest – Brazil**. Journal of Sustainable Development. 11, 827-833, 2016.
- ŠARAPATKA, B. SOLANO, D. P. CIŽMÁR, D. **Can glomalin be used as an indicator for erosion to soil and related changes in organic matter and nutrients?** Catena 181, p. 104 - 178, 2019.
- WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A. **A survey of soils aggregate stability and glomalin, a glycoprotein of arbuscular mycorrhizal fungi**. Plant Soil, v.198, p. 97-107, 1998.