

**ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS ENTRE ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM *MINESOIL* AO LONGO DE TRÊS ANOS DE RECUPERAÇÃO COM GRAMÍNEAS PERENES**  
**MARIA BERTASO DE GARCIA FERNANDEZ<sup>1</sup>;**  
**OTAVIO DOS ANJOS LEAL<sup>2</sup>; LIZETE STUMPF<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Programa de Manejo e Conservação do Solo e da Água – Universidade Federal de Pelotas – [mariabgfernandez@gmail.com](mailto:mariabgfernandez@gmail.com)

<sup>2</sup>Institute of Bio- and Geosciences - Agrosphere (IBG-3), Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich, Germany

<sup>3</sup>Programa de Manejo e Conservação do Solo e da Água – Universidade Federal de Pelotas – [zete.stumpf@gmail.com](mailto:zete.stumpf@gmail.com)

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui um extenso território com diferentes biomas. Cerca de 33,2% desse território está sob uso agrícola, principalmente agricultura e pecuária. A vegetação natural não florestal (herbácea e arbustiva) ocupa 6% do território brasileiro, atribuída principalmente ao Bioma Pampa. No Brasil, esse bioma é encontrado exclusivamente no estado mais ao sul (Rio Grande do Sul, RS) e sua vegetação consiste em campos nativos, que cobrem 69 e 2,3% do território do RS e do Brasil, respectivamente.

De acordo com Kuplich et al. (2023), cerca de 18% do Pampa brasileiro desapareceu de 2000 a 2021 e pode desaparecer completamente em um século se essa taxa for mantida. Além disso, o bioma Pampa abriga uma das atividades antropogênicas mais destrutivas, a mineração de carvão a céu aberto na Mina de Candiota, localizada no estado do RS, a qual contém 38% das reservas nacionais de carvão (MME, 2018).

A mineração de carvão a céu aberto suprime a vegetação e remove o solo até que os bancos de carvão sejam descobertos e explorados. Depois disso, a mina a céu aberto é preenchida com rochas residuais e sobrecarga, que são cobertas com uma camada de solo, que pode ser fina ou grossa, dependendo do material de solo disponível e dos procedimentos de mineração. Essa reconfiguração topográfica da paisagem leva a uma dramática compactação e qualidade do solo reconstruído (Stumpf et al., 2016; Fernandez et al., 2023; Miguel et al., 2023), também chamado de *minesoil*.

A escolha de espécies de plantas com um sistema radicular robusto para superar as adversidades de crescimento impostas pelo *minesoil* deve ser conciliada com o bioma local para a restauração ecológica adequada do *minesoil*. As gramíneas perenes atendem a esses pré-requisitos à revegetação do *minesoil* na região da Mina de Candiota, isso por apresentarem raízes vigorosas e por predominarem no Bioma Pampa (MapBiomas, 2023). Nossa hipótese é que as gramíneas perenes usadas na revegetação do *minesoil* melhoram progressivamente os atributos físicos do solo em três períodos avaliados. Além disso, nossa hipótese é de que a *Urochloa brizantha* melhora consideravelmente os atributos do solo em comparação com outras gramíneas, pois essa gramínea parece se adaptar melhor do que outras ao *minesoil* (Stumpf et al., 2016).

## 2. METODOLOGIA

Este estudo foi realizado na Área Experimental da Universidade Federal de Pelotas, na Mina de Candiota-RS. O solo foi construído em 2003, com 0,40 m de *topsoil* colocado acima dos rejeitos de carvão. O experimento foi instalado em

blocos ao acaso, com quatro repetições e parcelas de 20m<sup>2</sup>. Os tratamentos são com gramíneas perenes de verão, da família Poaceae: *Hemarthria altissima*, *Paspalum notatum*, *Cynodon dactylon* e a *Urochloa brizantha*.

Quando o solo completou 0,5 (2003), 8,6 (2012) e 14,6 anos (2017), foram coletadas amostras de com cilindros de aço (0,05 m de altura e 0,047 m de largura), nas camadas de 0,00–0,10 m e 0,10–0,20 m, para avaliação da densidade, macroporosidade e porosidade total do solo, segundo metodologia proposta por Teixeira et al. (2017). Também foram coletadas amostras de solo com auxílio de uma pá de corte nas camadas de 0,00–0,10 m e 0,10–0,20 m, para análise de Carbono Orgânico Total (COT), segundo Teixeira et al. (2017).

Para testar a evolução do solo de minas ao longo dos anos, os parâmetros do solo avaliados foram analisados por meio de uma Análise de Componentes Principais (ACP), a qual foi realizada utilizando o software PAST4.03 (PAleontological STatistics) (2001).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os componentes 1 e 2 explicaram 65,83 e 23,71%, respectivamente, da variação no conjunto de dados na faixa de 0,00–0,10 m. A parte direita (positiva) do componente 1 da ACP mostra relações mais estreitas entre Pt, Ma, microagregados e COT, principalmente no *minesoil* com 14,6 anos de restauração. A porção oposta (negativa) do componente 1 da ACP exhibe macroagregados e Ds associados ao *minesoil* com 0,5 e 8,6 anos de restauração. É importante observar que, de 0,5 a 8,6 anos, todas as gramíneas foram plotadas na porção oposta (negativa) do componente 1, indicando uma restauração dos atributos do *minesoil*, exceto a *U. brizantha*, que, aos 8,6 anos, já tinha repetições plotadas na porção direita (positiva) do componente 1, onde foram plotadas todas as repetições de gramíneas aos 14,6 anos de revegetação.

Em 0,10–0,20 m, os componentes 1 e 2 explicaram 69,64% e 15,74%, respectivamente, da variação no conjunto de dados. Conforme observado na camada superior, a parte direita (positiva) do componente 1 da ACP mostra relações mais estreitas entre Pt, Ma, microagregados e COT, principalmente no *minesoil* com 14,6 anos de restauração sob todas as gramíneas. A porção oposta (negativa) do componente 1 da ACP exhibe os macroagregados e o Ds associados ao *minesoil* com 0,5 e 8,6 anos de restauração. Diferentemente do que foi observado na camada superior, a *U. brizantha* não apresentou o mesmo potencial aos 8,6 anos, permanecendo com a maioria das repetições nesse quadrante

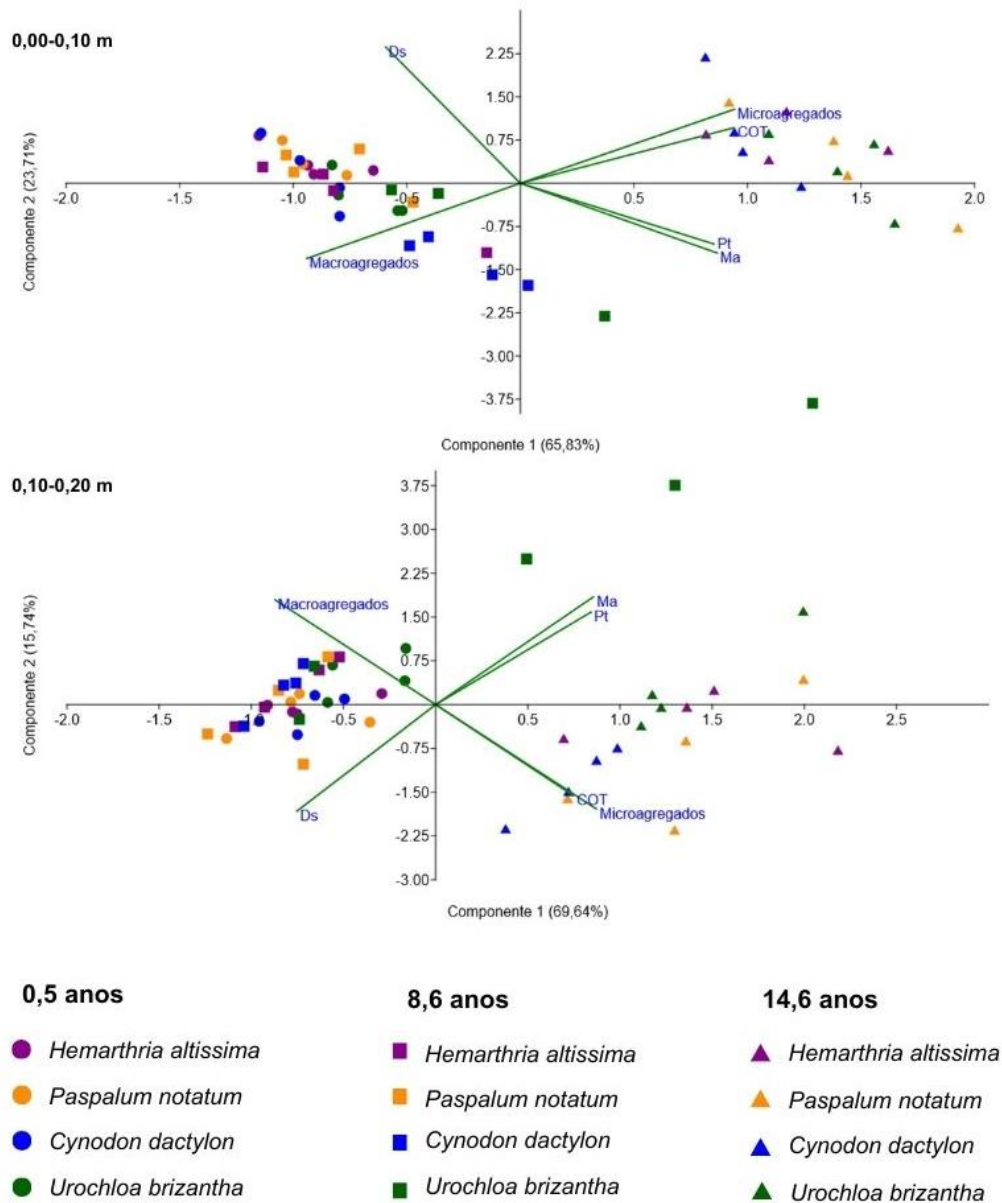


Figura 1: Análise de Componentes Principais integrando macroagregados, microagregados, macroporosidade (Ma), Porosidade Total (Pt) e Carbono Orgânico Total (COT) nas camadas de 0,00–0,10 m e 0,10–0,20 m aos 0,5, 8,6 e 14,6 anos de restauração com gramíneas perenes (*Hemarthria altissima*, *Paspalum notatum*, *Cynodon dactylon* and *Urochloa brizantha*)

A compactação persistente do *minesoil*, especialmente a 0,10–0,20 m, é confirmada pela análise ACP. Quando o componente 1 é analisado, a Ds e os macroagregados estão ambos do mesmo lado, sugerindo uma relação positiva entre eles (isso significa que quanto mais altos os valores de densidade do solo, maior a porcentagem de macroagregados), e todos os tratamentos com 0,5 e 8,6 anos de restauração têm a mesma porcentagem de macroagregados. Após 14,6 anos de restauração, há uma mudança no comportamento dos tratamentos, o que provavelmente reflete a expansão das raízes induzindo a quebra de agregados coesivos.

A *U. brizantha* é usada como cultura de cobertura e pastagem no Brasil e em outros países da América do Sul, e produz grandes quantidades de biomassa acima

do solo, favorecendo assim a proteção da superfície do solo e o armazenamento de carbono (Baptistella et al., 2020). Além disso, a capacidade dos sistemas radiculares da *U. brizantha* de romper e explorar camadas compactadas do solo facilita a reestruturação do solo, conforme verificado em nosso estudo, bem como a recuperação de elementos essenciais das camadas mais profundas do solo para a atividade microbiana e a melhoria da qualidade do solo. Embora a *U. brizantha* não seja nativa do Pampa, ela promove uma melhoria excepcional dos atributos físicos, químicos e biológicos do *minesoil* em comparação a vegetação espontânea (Fernandez et al., 2023).

#### 4. CONCLUSÕES

A *U. brizantha* mostra-se bem adaptada ao *minesoil* altamente antropizado e às condições climáticas subtropicais encontradas no Bioma Pampa, e pode ser uma ferramenta bem-sucedida para a reintegração inicial dessas terras à paisagem. Também promove um excelente alívio da compactação e reestruturação do solo em comparação com as outras gramíneas avaliadas, bem como o aumento dos teores de COT ao longo dos anos de restauração.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baptistella, J.L.C., de Andrade, S.A.L., Favarin, J.L., & Mazzafera, P. Urochloa in tropical agroecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, 4, 119, 2020

Kuplich, T.M.; Soler, L.; Narvaes, I.S.; Peixoto, D.; Trindade, P.; Silveira, G.; Almeida, C. Brazilian Pampa as part of the INPE's official program for mapping native vegetation removal. **International Cartographic Association** 6, 130, 2023

Fernandez, M. B. G., Leal, O.A., Júnior, A. P., Islabão, L.O., Silveira, L. M., Nogueira, H. L., Rocha, J.V.P., Nascimento, B.B., Oliveira, N.L., Oliveira, M.S., Miguel, P., Pinto, L.F.S., Stumpf, L. First assessment of soil mesofauna, microbiota, and humic substances associations in a minesoil revegetated with four grasses in Brazil: An 18-year field study. **European Journal of Soil Biology**, 118, 103533, 2023

MapBiomass 2023. **Projeto MapBiomass - Mapeamento anual do estoque de carbono orgânico do solo (COS) no Brasil 1985 – 2021**. Disponível em: [https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/08/MapBiomass\\_Solo\\_JUNHO\\_2023\\_21.06\\_OK\\_Alta\\_1\\_-1.pdf](https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/08/MapBiomass_Solo_JUNHO_2023_21.06_OK_Alta_1_-1.pdf)

Miguel, P., Stumpf, L., Pinto, L. F. S., Pauletto, E. A., Rodrigues, M. F., Barboza, L. S., Leidemer, J.D., Duarte, T.B., Pinto, M.A.B., Fernandez, M.B.G., Islabão, L.O., Silveira, L.M., Rocha, J. V. P. Physical restoration of a minesoil after 10.6 years of revegetation. **Soil and Tillage Research** 227, 105599, 2023

MME - Ministry of Mines and Energy (2018). Energy Research Company (Brazil). **Summary Report year 2017**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-en/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-180/Summary%20Report%202018.pdf>

Stumpf, L., Pauletto, E.A., Pinto, L.F.S. Soil aggregation and root growth of perennial grasses in a constructed clay minesoil. **Soil Tillage Research** 161, 71–78, 2016.

Teixeira, P.C.; Donagemma, G.K.; Fontana, A.; Teixeira, W.G. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 3ª edição Revista e Ampliada, Brasília: Embrapa. 573p, 2017