

# SISTEMA RADICULAR DA *Urochloa brizantha*: DESENVOLVIMENTO E INFLUÊNCIA NOS ATRIBUTOS DE UM SOLO DEGRADADO

Lizete Stumpf, Eloy Antonio Pauletto, Luiz Fernando Spinelli Pinto, Marília Alves Brito Pinto, Leonir Aldrighi Dutra Junior e Tiago Scheunemann

## RESUMO

O uso de plantas de cobertura que tenham como característica um sistema radicular abundante com crescimento rápido e contínuo, como as *Urochloas*, pode proporcionar significativas melhorias químicas e físicas ao solo, tornando-se uma alternativa viável na recuperação de solos degradados pela mineração. O objetivo do trabalho foi analisar a dinâmica radicular da *Urochloa brizantha* e sua influência nos atributos físico-químicos de um solo degradado pela mineração de carvão. O estudo foi realizado em dois experimentos, instalados em 2003 e 2007, respectivamente. Realizaram-se amostragens de raízes e de solo em julho de 2012, até a profundidade de 0,30m. A *Urochloa brizantha* apresentou desenvolvimento radicular até a

profundidade de 0,30 m após 58 meses de implantação, com incremento da sua biomassa radicular nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20m após este período. Alterações nos atributos físicos e no teor de carbono orgânico do solo construído mostram-se lentas, indicando que, mesmo que o sistema radicular continue em expansão nas camadas mais profundas, as inter-relações com outros organismos do solo degradado ainda são incipientes. Sugere-se como estudo em solos degradados pela mineração o levantamento da fauna edáfica nas diferentes camadas do solo, visando estimar a sua contribuição na decomposição do sistema radicular e nas melhorias da condição física do solo.

## Introdução

Gramíneas forrageiras do gênero *Urochloa* alcançaram grande importância econômica no Brasil, nos últimos 30 anos (Valle *et al.*, 2015), adaptando-se bem às condições edafoclimáticas do país (Vitor Teixeira *et al.*, 2014), com uso indicado para o sistema de integração lavoura-pecuária (Santos *et al.*, 2015), devido ao seu sistema radicular bastante eficiente em promover a estruturação do solo, proporcionando um ambiente favorável ao crescimento da cultura subsequente (Salton e Tomazi, 2014).

O uso de plantas de cobertura que tenham como característica a produção de vasto sistema radicular, com crescimento rápido e contínuo, como as *Urochloas*, podem proporcionar significativas

melhorias químicas e físicas ao solo (Bonfim-Silva *et al.*, 2012; Salton e Tomazi, 2014; Marchini *et al.*, 2015), tornando-se uma alternativa viável na recuperação de solos degradados pela mineração.

Um dos principais mecanismos de recuperação de áreas degradadas se baseia no restabelecimento da cobertura vegetal, de modo que a vegetação impeça o processo erosivo, além de promover a reorganização do ecossistema (Oliveira Filho *et al.*, 2015). Rodrigues *et al.*, (2007) observaram em áreas degradadas remanescentes da construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, que a revegetação com *Urochloa brizantha* proporcionou teores de matéria orgânica e volume de macroporos semelhantes ao do cerrado natural e maiores que o solo exposto. Lunardi Neto

*et al.* (2008) observaram em um solo reconstruído após mineração de carvão que o uso de *Urochloa brizantha* favoreceu a recuperação da qualidade física do solo degradado.

A mineração de carvão a céu aberto abrange a remoção dos horizontes do solo original e das rochas, seguido da retirada dos bancos de carvão. Posteriormente, durante a recomposição topográfica da área minerada, os estéreis (mistura de rochas e carvão não aproveitados) são depositados na cava aberta, resultante da extração do minério, onde são aplainados por tratores de esteira, recebendo uma camada superficial de solo (horizonte A e/ou B), retirada da frente de lavra do carvão, originando assim o 'solo construído'. Portanto, a recuperação dos atributos físicos destes solos tende a ser lenta,

devido a intensa perturbação do ecossistema (Stumpf *et al.*, 2014a), pois esta atividade altera permanentemente a topografia, a geologia e o regime hidrológico da área (Mukhopadhyay *et al.*, 2013; Zhao *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2015). Além do impacto visual, há problemas associados à drenagem ácida de áreas adjacentes (Daniels e Zipper, 2010), à erosão e à compactação do solo recomposto (Sheoran *et al.*, 2010; Krummelbein e Raab, 2012), e perdas de carbono durante a remoção, armazenamento e recolocação do solo na área minerada, tanto pela erosão do solo como pela desintegração de agregados do solo natural, que acabam expostos à ação dos microorganismos (Anderson *et al.*, 2008; Wick *et al.*, 2009; Maharana e Patel, 2013).

## PALAVRAS CHAVE / Densidade do solo / Densidade Radicular / Macroporosidade / Solo / *Urochloa brizantha* /

Recebido: 28/01/2016. Modificado: 15/02/2016. Aceito: 14/04/2016.

**Lizete Stumpf.** Engenheira Agrônoma e Doutora em Ciências, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Brasil. Professora, Universidade Federal de Rio Grande (FURG), Campus São Lourenço do Sul, RS, Brasil. Endereço: Rua Marechal Floriano Peixoto 2236, São Lourenço

do Sul, RS, Brasil. e-mail: zete.stumpf@gmail.com  
**Eloy Antonio Pauletto.** Engenheiro Agrônomo e Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Brasil. Professor, UFPel, Brasil.

**Luiz Fernando Spinelli Pinto.** Geólogo e Doutor em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, Brasil. Professor Associado, UFPel, Brasil.  
**Marília Alves Brito Pinto.** Engenheira Agrônoma, Doutora em Ciências, UFPel, Brasil.

**Leonir Aldrighi Dutra Junior.** Técnico Agropecuário, Conjunto Agrotécnico Visconde da Graça, Brasil.  
**Tiago Scheunemann.** Engenheira Agrônoma, UFPel, Brasil.

## THE ROOT SYSTEM OF *Urochloa brizantha*: DEVELOPMENT AND INFLUENCE ON THE ATTRIBUTES OF A DEGRADED SOIL

Lizete Stumpf, Eloy Antonio Pauletto, Luiz Fernando Spinelli Pinto, Marília Alves Brito Pinto, Leonir Aldrighi Dutra Junior and Tiago Scheunemann

### SUMMARY

The use of cover crops characterized by abundant root system with fast and continuous growth, such as the *Urochloa brizantha*, can provide chemical and physical significant improvements to the soil. Thus, the use of cover crops becomes a viable alternative to recovery soils degraded by mining. This study aimed to analyze the root dynamics of *Urochloa brizantha* and its influence in physical-chemical attributes of a soil degraded by coal mining, in two field experiments installed in 2003 and 2007, respectively. Root and soil samples were collected on July 2012, to a 0.30m depth. The *Urochloa brizantha* showed root develop-

ment to a 0.30m depth after 58 months of implantation. The root biomass increased in the layers of 0.00-0.10m and 0.10-0.20m after this period. Changes in physical attributes and organic carbon content of the mine soil are slow, indicating that even if the root system continues its expansion in deeper layers, the interrelationships with other organisms of the degraded soil are still incipient. It is suggested to perform an edaphic fauna survey in different layers of soils degraded by mining the, aiming to estimate their contribution to the root system decomposition and in to the improvement of the physical conditions of the soil.

## SISTEMA RADICULAR DE LA *Urochloa brizantha*: DESARROLLO E INFLUENCIA EN LOS ATRIBUTOS DE UN SUELO DEGRADADO

Lizete Stumpf, Eloy Antonio Pauletto, Luiz Fernando Spinelli Pinto, Marília Alves Brito Pinto, Leonir Aldrighi Dutra Junior y Tiago Scheunemann

### RESUMEN

El uso de las plantas de cobertura que tengan como característica un sistema radicular abundante con crecimiento rápido e continuo, como las *Urochloas*, puede proporcionar significativas mejoras químicas e físicas al suelo, tornándose una alternativa viable en la recuperación de suelos degradados por la minería. El objetivo del trabajo fue analizar la dinámica radicular de la *Urochloa brizantha* y su influencia en los atributos físico-químicos de un suelo degradado por la minería del carbón. El estudio fue realizado en dos experimentos, instalados en 2003 e 2007, respectivamente. Se realizaron muestreos de raíces y de suelo en julio de 2012, hasta una profundidad de 0,30m. La *Urochloa brizantha* presentó desarrollo radicular hasta la profundidad de

0,30 m después de 58 meses de su implantación, con incremento da su biomasa radicular en las camadas de 0,00-0,10m y 0,10-0,20m después de este periodo. Alteraciones en los atributos físicos y en el contenido de carbono orgánico del suelo construido se muestran lentas, indicando que aunque el sistema radicular continúe en expansión en las capas más profundas, todavía son incipientes a las inter-relaciones con otros organismos del suelo degradado. Se sugiere, como estudio para suelos degradados por la minería, la identificación de la fauna edáfica en las diferentes camadas del suelo, con el fin de estimar su contribución en la descomposición del sistema radicular y en las mejoras de la condición física del suelo.

Diante desse contexto, o objetivo do trabalho foi analisar a dinâmica radicular da *Urochloa brizantha* e sua influencia nos atributos físico-químicos de um solo degradado pela mineração de carvão.

### Material e Métodos

O estudo foi realizado em uma área degradada pela mineração de carvão, localizada na cidade de Candiota, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, com coordenadas: 31°33'56"S e 53°43'30"O.

O solo da área em estudo foi construído no início de 2003 e sobre os estereis foi reposto uma camada superficial de solo com predomínio do horizonte B de um Argissolo Vermelho eutrófico típico (Embrapa, 2006),

de classe textural argilosa, conforme mostrado na Tabela I.

Antes da instalação do experimento, o solo foi escarificado com patola a uma profundidade de ~0,15m, seguido por calagem correspondente a 10,4Mg·ha<sup>-1</sup> de calcário com PRNT de 100% e adubação de 900kg·ha<sup>-1</sup> do formulado NPK 5-20-20, com base em resultados obtidos pela análise de solo. Adubações de 250kg·ha<sup>-1</sup> do formulado NPK 5-30-15 e 250kg·ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio também foram realizadas anualmente em todas as parcelas da área experimental.

O experimento com diferentes gramíneas foi implantado em parcelas de 20m<sup>2</sup>, em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. Em novembro/dezembro de 2003 os tratamentos implantados foram

Camada -m-	Areia	Silte	Argila	Classe textural
	----- g·kg <sup>-1</sup> -----			
0,00-0,10	336	211	453	Argilosa
0,10-0,20	318	204	478	Argilosa
0,20-0,30	259	274	467	Argilosa

*Hemarthria altissima*, o *Paspalum notatum* cv. Pensacola, *Cynodon dactylon* cv Tifton e *Urochloa brizantha*. Em setembro/outubro de 2007 um novo experimento foi instalado com as espécies *C. dactylon* cv Vaquero *U. brizantha*, *Panicum maximum*, *Urochloa humidicola*, *H. altissima* e *C. dactylon* cv Tifton.

Considerando as espécies que foram cultivadas em ambos os experimentos, *U. brizantha* foi

a gramínea que mais contribuiu na recuperação da qualidade estrutural do solo construído (Stumpf *et al.*, 2014a, b). Portanto, em 2012 decidiu-se realizar avaliações sobre a dinâmica radicular desta gramínea, implantada tanto em 2003 como em 2007.

A amostragem de raízes ocorreu através do método do monólito (Böhm, 1979), com o auxílio de placas com pregos (0,40m de comprimento×0,30m

de altura  $\times$  0,035m de largura), totalizando em oito monólitos de solo (4 repetições no experimento iniciado em 2003 e 4 repetições no experimento iniciado em 2007). Após a coleta, os monólitos foram embalados com filme plástico e encaminhados ao laboratório, para procedimento de lavagem e separação das raízes. A lavagem consistiu em saturar a placa por 24h em solução de NaOH 0,2mol·l<sup>-1</sup> para dispersar o solo e facilitar a lavagem das raízes e, após este período, estas foram lavadas com água corrente ou jatos leves de água para retirada do solo da placa. Finalizado o processo de lavagem, as raízes distribuídas no monólito foram separadas por camadas (0,00-0,10; 0,10-0,20; e 0,20-0,30m), cortadas e lavadas em uma peneira com abertura de 1mm, armazenadas em sacos plásticos e refrigeradas a 2°C. Posteriormente, as raízes foram digitalizadas em scanner HP Scanjet 3570C para determinação de volume, de comprimento, de área e de diâmetro radicular, através do Software SAFIRA. Após o escaneamento, as raízes foram secas em estufa a 65°C por 72h, para obtenção da massa seca de raízes. Pela relação dos valores de massa seca de raízes e o volume de solo que estas ocupavam, obteve-se a densidade radicular de cada camada avaliada.

Em face da irregularidade de deposição da camada de solo sobre os estéreis na recomposição topográfica da área, em todos os monólitos coletados, fez-se a medição da espessura da camada de solo e de estéreis, conforme mostrado na Tabela II.

Amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas para determinação da caracterização química, teor de carbono orgânico, estabilidade de agregados em água e diâmetro médio ponderado de agregados (Embrapa, 2011), totalizando 12 amostras por ano de implantação da espécie (4 blocos  $\times$  1 subamostra por parcela  $\times$  3 camadas).

Amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas para determinação da densidade do solo, porosidade total

e macroporosidade (Embrapa, 2011) totalizando 24 amostras por ano de implantação da espécie (4 blocos  $\times$  2 subamostras por parcela  $\times$  3 camadas).

A comparação dos tratamentos para as variáveis radiculares (densidade, volume, comprimento e diâmetro médio ponderado radicular), para as variáveis físicas (densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, porcentagem de macroagregados e diâmetro médio ponderado) e para as variáveis químicas (teor de carbono orgânico, pH, teor de cálcio, magnésio, acidez potencial, saturação por bases e alumínio) foi feita pelo teste t para amostras independentes.

## Resultados e Discussão

Ao analisar os atributos radiculares da *Urochloa brizantha* se observou incrementos significativos da densidade radicular (DR), do volume radicular (VR) e do comprimento radicular (CR), principalmente na camada de 0,10-0,20m, que aumentaram respectivamente 246,82; 325 e 353,22% entre os 58 e 103 meses de revegetação, evidenciando o aprofundamento do sistema radicular neste período (Figura 1a, b, c).

O maior desenvolvimento radicular da *U. brizantha* próximo à superfície do solo, observado em ambos os períodos avaliados (Figura 1a, b, c), é uma característica comum da maioria das gramíneas. De acordo com Jackson *et al.* (1996) e Peek *et al.* (2005) a média global da profundidade de enraizamento das gramíneas é de 44% de massa radicular concentrada na camada até 0,10m e de 75% nos primeiros 0,30m, apesar da textura do solo ter influência significativa nisso, conforme relata Schenk e Jackson (2002), que observaram que 95% de todas as raízes das espécies vegetais, em diferentes biomas, se desenvolvem em maiores profundidades nos solos arenosos do que nos solos argilosos. Em solos de textura média, Cunha *et al.* (2010) observaram a concentração de 80% do sistema radicular da *U. brizantha* até os

0,50m de profundidade, após dois anos de cultivo.

No presente estudo, se observou que aos 58 meses de revegetação a *U. brizantha* apresentava 80,79% de sua massa radicular distribuída na camada de 0,00-0,10m, 13,40% na camada de 0,10-0,20m e 5,81% na camada de 0,20-0,30m do solo construído. Quando estes resultados são comparados com as plantas avaliadas aos 103 meses (45 meses mais velhas; Tabela III), se observa uma diminuição de 20% da massa radicular na camada de 0,00-0,10m (64,72%), aumentos de 118% na camada de 0,10-0,20m (29,24%) e 3,97% na camada de 0,20-0,30m (6,04%). O resultado observado na camada de 0,00-0,10m pode indicar o ciclo

de crescimento e mortalidade das raízes desta espécie; embora, de acordo com Gregory (2006), a longevidade de vida das raízes varie entre plantas perenes, com influencia sazonal neste ciclo. Weaver e Zink (1946) observaram um aumento no número de raízes e mínima presença de raízes mortas em seis espécies de pastagens, ao longo de 36 meses de avaliação. Esta pode ser uma evidência de que antes dos 58 meses, as raízes da *U. brizantha* estavam em sua fase de crescimento no solo.

Por outro lado, o aumento da produção de raízes em profundidade (Tabela III) pode evidenciar o comportamento natural da espécie e/ou indicar a expansão tardia do sistema radicular devido à condição

TABELA II  
ESPESSURA DA CAMADA DE SOLO E DE ESTÉRIL NOS DIFERENTES BLOCOS SOB O CULTIVO DE *Urochloa brizantha* AOS 58 (IMPLANTADO EM 2007) E 103 MESES DE REVEGETAÇÃO (IMPLANTADO EM 2003)

Espessura	Bloco	<i>Urochloa brizantha</i>	
		58 meses	103 meses
Camada de solo	I	0,30 m	0,17m
Camada de estéril		Ausente	0,13m
Camada de solo	II	0,20 m	0,30 m
Camada de estéril		0,10 m	Ausente
Camada de solo	III	0,30 m	0,30 m
Camada de estéril		Ausente	Ausente
Camada de solo	IV	0,04 m	0,20 m
Camada de estéril		0,26 m	0,10 m

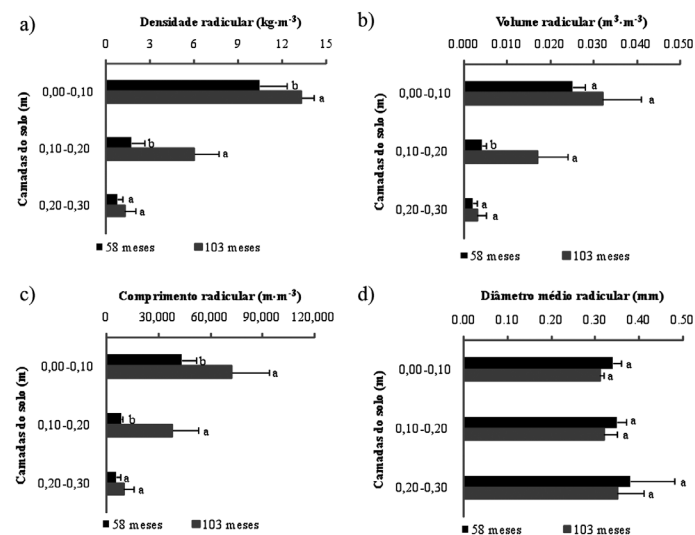


Figura 1. Valores médios de densidade, volume, comprimento e diâmetro médio radicular da *Urochloa brizantha* aos 58 e 103 meses de revegetação.

física inadequada do solo construído, advinda da compactação, conforme abordado por Stumpf *et al.* (2014a), o qual é considerado um problema comum em solos recompostos topograficamente (Lunardi Neto *et al.*, 2008; Wick *et al.*, 2009; Sheoran *et al.*, 2010; Borůvka *et al.*, 2012; Sena *et al.*, 2014).

Em relação à classe de diâmetros de raízes se observou que, independente do período avaliado, a maior concentração da massa de raízes ocorreu na classe de 0,25-0,49mm. Todavia, houve um incremento de 4,58% e 4,02% nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20m respectivamente, entre os 58 e 103 meses (Tabela III). De acordo com Hendrick e Pregitzer (1993) a produção de raízes finas é predominante nas gramíneas e sua permanência no solo pode ser de semanas a anos, dependendo das espécies e das condições ambientais.

Na Tabela III observa-se na camada de 0,20-0,30m, que o sistema radicular da *U. brizantha* apresentou um aumento de 40% de raízes na classe de diâmetro de 0,50-0,99mm entre os 58 e 103 meses. Este resultado pode ser uma consequência da elevada saturação por alumínio (m) observado nesta camada do solo construído (Figura 2f), já que algumas espécies de *Urochloa* podem apresentar média a baixa tolerância ao alumínio, com consequente aumento no diâmetro radicular, conforme observado por Bitencourt *et al.* (2011).

A maior saturação por alumínio e os menores valores de pH observados na camada de 0,20-0,30m (Figura 2f) devem-se à presença de estéreis, utilizados para recompor topograficamente a área experimental, que ficaram próximos a superfície devido a irregularidade da deposição da camada de solo (Tabela II) Os estéreis são fragmentos de rochas que podem conter enxofre reduzido, como o carvão, e que ao serem expostos ao ar e à água, resultam na produção de grandes quantidades de ácido

sulfúrico, que em contato com a água de drenagem e oxigênio gera a água ácida de mina, com valores de pH muito baixos (Brady e Weil, 2013). De acordo com Daniels e Zipper (2010) tentativas de revegetação de solos construídos com valores de pH abaixo de 4,0 devem ser totalmente evitadas, enquanto que solos construídos com um pH entre 4,0 e 5,5 exigem a adição significativa de calcário para ocorrer um crescimento adequado de plantas.

De maneira geral, se observa que não houve mudanças significativas na condição química do solo construído entre os períodos de 58 a 103 meses (Figura 2), evidenciando, por um lado, a efetividade da calagem no decorrer dos anos, principalmente até a profundidade de 0,20m, e por outro, a influência negativa dos estéreis próximos à superfície durante a recomposição topográfica da área minerada.

Considerando o baixo pH, a elevada saturação por alumínio e acidez potencial, os teores de Ca e Mg na camada de 0,20-0,30m (Figura 2c, d) devem-se possivelmente à intemperização dos fragmentos das rochas (estéreis) utilizados na construção do solo, conforme já observado por Bitencourt (2014) em solos construídos no Brasil e por Borůvka *et al.* (2012) em solos construídos na República Checa.

Diferente do esperado, ao se analisar os atributos físicos e o teor de carbono orgânico do solo não se observam alterações significativas nas diferentes camadas avaliadas entre os

períodos distintos, exceto para a densidade do solo (Ds) e macroporosidade (Ma) na camada de 0,20-0,30m (Figura 3). De maneira geral, se observa a tendência de diminuição da Ds e o incremento da porosidade total (PT), da Ma, do carbono orgânico (CO), da porcentagem de macroagregados e do diâmetro médio ponderado de agregados (DMP), principalmente na camada de 0,10-0,20m (Figura 3a, b, c, d). Em solos agrícolas, resultados

semelhantes foram observados por Salton (2005), Dupont *et al.* (2010), Vezzani e Mielniczuk (2011a) e Benini e Alves (2012).

Os benefícios do incremento no desenvolvimento radicular, principalmente na camada de 0,10-0,20m, podem ser evidenciados pelos valores da Ds inferiores a 1,40Mg·m<sup>-3</sup> e pelo de volume de Ma superiores a 0,10m<sup>3</sup>·m<sup>-3</sup> entre os 58 e 103 meses de revegetação, considerados adequados ao desen-

TABELA III  
CONCENTRAÇÃO DE MASSA SECA DE RAÍZES POR CAMADA DO SOLO CONSTRUIDO E SUA DISTRIBUIÇÃO POR CLASSE DE DIÂMETRO

Tratamentos	Camada	% de raízes	% raízes em classes de diâmetro		
			0,25-0,49 mm	0,50-0,99 mm	1,00-2,00 mm
58 meses de revegetação					
<i>Urochloa brizantha</i>	0,00-0,10 m	80,79	88,98	9,06	1,96
	0,10-0,20 m	13,40	85,87	13,37	0,77
	0,20-0,30 m	5,81	92,55	6,59	0,85
103 meses de revegetação					
<i>Urochloa brizantha</i>	0,00-0,10 m	64,72	93,23	5,93	0,83
	0,10-0,20 m	29,24	89,32	9,71	0,97
	0,20-0,30 m	6,04	89,70	9,28	1,02

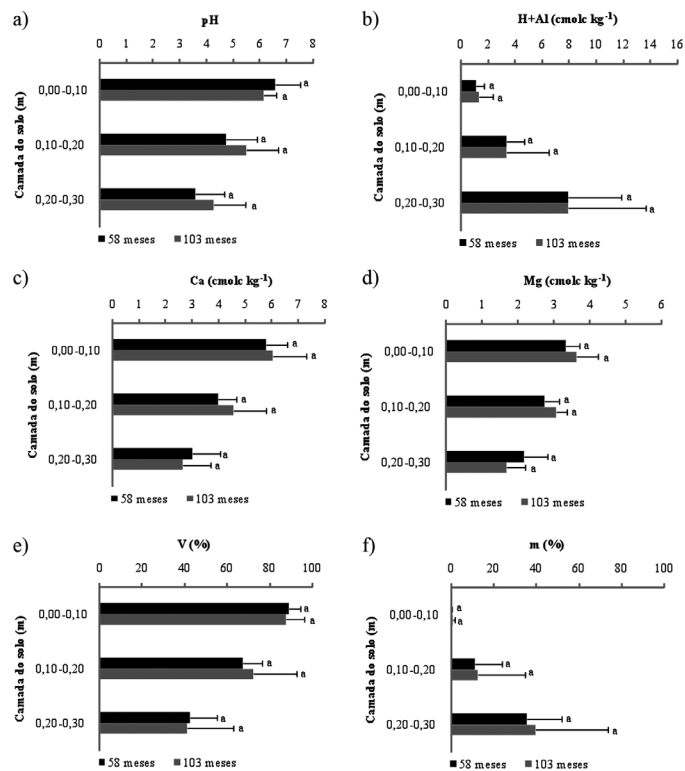


Figura 2. Valores médios de pH, acidez potencial (H+Al), teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), saturação por bases (V) e por alumínio (m) nas camadas de 0,00-0,10m; 0,10-0,20m; e 0,20-0,30m de um solo construído sob cultivo de *Urochloa brizantha* aos 58 e 103 meses de revegetação.



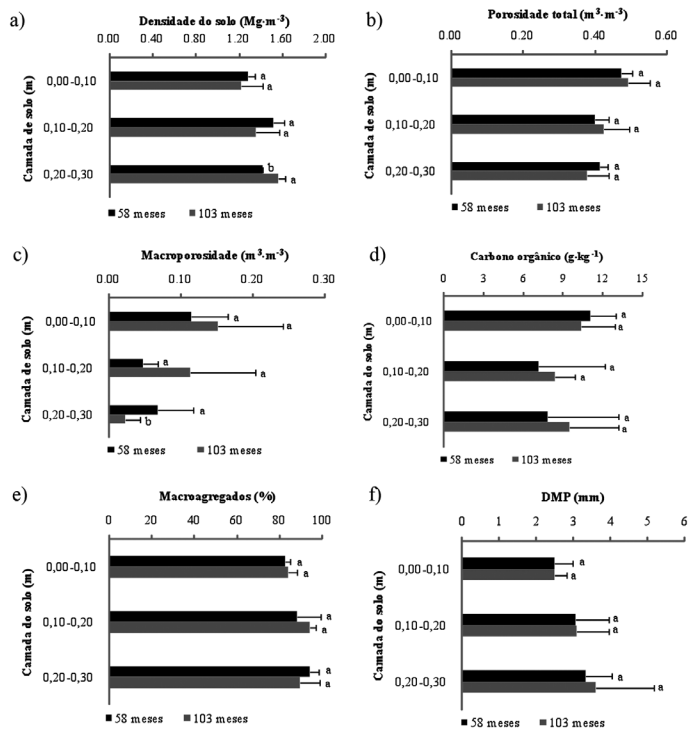


Figura 3. Densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, teor de carbono orgânico, porcentagem de macroagregados e diâmetro médio ponderado (DMP) de um solo construído sob cultivo de *Urochloa brizantha* aos 58 e 103 meses de revegetação.

volvimento da maioria das culturas agrícolas em solos de textura argilosa (Reichert *et al.*, 2003; Girardelo *et al.*, 2011; Baquero *et al.*, 2012).

Alterações significativas entre os atributos do solo mineração possivelmente necessitem, além de um período maior de estabelecimento da espécie em profundidade, das inter-relações do sistema radicular com os demais organismos do solo, que são importantes no processo de decomposição da matéria orgânica, mas que, em solos degradados pela mineração, tendem a estarem presentes em menor quantidade e diversidade, conforme já relatado por Oliveira Filho *et al.* (2015). De acordo com Vezzani e Mielniczuk (2011b), é a partir da biomassa vegetal que a biota edáfica tem fonte de alimento para seu desenvolvimento, e a partir desta interatividade ocorrerão modificações na estrutura física do solo, que será tanto mais complexa quanto maior for a quantidade de biomassa vegetal aportada ao sistema.

## Conclusões

A *Urochloa brizantha* apresentou desenvolvimento radicular até a profundidade de 0,30m do solo construído após 58 meses de implantação, com incremento da sua biomassa radicular nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20m, corroborando que o estabelecimento da espécie em solos degradados pela mineração é lento.

Alterações nos atributos físicos e no teor de carbono orgânico do solo construído mostram-se lentas, indicando que, mesmo que o sistema radicular continue em expansão nas camadas mais profundas, as inter-relações com outros organismos do solo degradado ainda é incipiente.

Sugere-se como estudo em solos degradados pela mineração o levantamento da fauna edáfica nas diferentes camadas do solo, visando estimar a sua contribuição na decomposição do sistema radicular e nas melhorias da condição física do solo.

## REFERÊNCIAS

- Anderson JD, Ingram LJ, Stahl PD (2008) Influence of reclamation management practices on microbial biomass carbon and soil organic carbon accumulation in semiarid mined lands of Wyoming. *Appl. Soil Ecol.* 40: 387-397.
- Baquero JE, Ralisch R, Medina CC, Tavares Filho J, Guimarães MF (2012) Soil physical properties sand sugarcane root growth in a Red Oxisol. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 36: 63-70.
- Bitencourt GA, Chiari L, Laura VA, Valle CB, Jank L, Moro JR (2011) Aluminum tolerance on genotypes of signal grass. *Rev. Bras. Zootec.* 40: 245-250.
- Bitencourt DGB (2014) *Dinâmica de Acidificação e Metais no Solo e Subsolo de Solos Construídos na Área de Mineração de Carvão de Candiota-RS*. Tese. Universidade Federal de Pelotas, Brasil. 125 pp.
- Böhm W (1979) *Methods of Studying Root Systems*. 1ª ed. Springer. New York, EEUU. 188 pp.
- Bonfim-Silva EM, Valadão Junior DD, Reis RHP, Campos JJ, Scaramuzza WLMP (2012) Establishment of xaraés and marandu grasses under level of soil compaction. *Rev. Eng. Agric.* 32: 727-735.
- Bonini CSB, Alves MC (2012) Qualidade física de um Latossolo Vermelho em recuperação há dezessete anos. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.* 16: 329-336.
- Borůvka L, Kozák J, Mühlhanslová M, Donátová H, Nikodem A, Němeček K (2012) Effect of covering with natural topsoil as a reclamation measure on brown-coal mining dumpsites. *J. Geochem. Explor.* 113: 118-123.
- Brady NC, Weill R (2013) *Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos*. 3ª ed. Bookman. Porto Alegre, Brasil. 716 pp.
- Cunha FF, Ramos MM, Alencar CAB, Martins CE, Cóser AC, Oliveira RA (2010) Sistema radicular de seis gramíneas irrigadas em diferentes adubações nitrogenadas e manejos. *Acta Sci. Agron.* 32: 351-357.
- Daniels WL, Zipper CE (2010) *Creation and Management of Productive Minesoils*. Cooperative Extension 460-121. Powell River Project. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, VA, EEUU. 13 pp.
- Dupont ST, Culman SW, Ferris H, Buckley DH, Glover JD (2010) No-tillage conversion of harvested perennial grassland to annual cropland reduces root biomass, decreases active carbon stocks, and impacts soil biota. *Agric., Ecosyst. Environ.* 137: 25-32.
- Embrapa (2011) *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 2ª ed. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasília, Brasil. 212 pp.
- Embrapa (2006) *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2ª ed. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasília, Brasil. 306 pp.
- Girardelo VC, Amado TJC, Nicoloso RS, Hörbe TAN, Ferreira AO, Tabaldi FM, Lanzanova ME (2011) Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 35: 2115-2126.
- Gregory P (2006) *Plant Roots: Grow, Activity and Interaction with Soils*. 1ª ed. Blackwell. Oxford, RU. 340 pp.
- Hendrick RL, Pregitzer KS (1993) The dynamics of fine root length, biomass, and nitrogen content in two northern hardwood ecosystems. *Can. J. Forest Res.* 23: 2507-2520.
- Jackson RB, Canadel J, Ehleringer JR, Mooney HA, Sala OE, Schulze ED (1996) A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia* 108: 389-411.
- Krümmlbein J, Raab T (2012) Development of soil physical parameters in agricultural reclamation after brown coal mining within the first four years. *Soil Till. Res.* 125: 109-115.
- Lunardi Neto AL, Albuquerque JA, Almeida JA, Mafra AL, Medeiros JC, Alberton A (2008) Atributos físicos do solo em área de mineração de carvão influenciados pela correção da acidez, adubação orgânica e revegetação. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 32: 1379-1388.
- Maharana JK, Patel AK (2013) Characterization of physico-chemical properties and their impact on enzyme activities in a

- chronosequence coal mine overburden spoil as biomarker for reclamation process. *Bacteriol. Parasitol.* 4: 174-183.
- Marchini DC, Ling TGC, Alves MC, Crestana S, Souto Filho SN, Arruda OG (2015) Matéria orgânica, infiltração e imagens tomográficas de Latossolo em recuperação sob diferentes tipos de manejo. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.* 19: 574-580.
- Mukhopadhyay S, Maiti SK, Masto RE (2013) Use of Reclaimed Mine Soil Index (RMSI) for screening of tree species for reclamation of coal mine degraded land. *Ecol. Eng.* 57: 133-142.
- Reichert JM, Reinert JD, Braida JÁ (2003) Qualidade dos solos e sustentabilidade dos sistemas agrícolas. *Ciênc. Amb.* 27: 29-48.
- Rodrigues GB, Maltoni KL, Cassiolato AMR (2007) Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma Cerrado. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.* 11: 73-80.
- Salton JC (2005) *Matéria Orgânica e Agregação do Solo na Rotação Lavoura-Pastagem em Ambiente Tropical*. Tese. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. 158 pp.
- Salton JC, Tomazi M (2014) *Sistema Radicular de Plantas e Qualidade do Solo*. Comunicado Técnico 198. Embrapa Agropecuária Oeste. Dourados, Brasil. 6 pp.
- Santos FLS, Melo WRF, Coelho PHM, Benett CGS, Dotto MC (2015) Crescimento inicial de espécies de *Urochloa* em função da profundidade de semeadura. *Rev. Agric. Neotrop.* 2: 1-6.
- Sena K, Barton C, Hall S, Angel P, Agouridis C, Warner R (2014) Influence of spoil type on afforestation success and natural vegetative recolonization on a surface coal mine in Appalachia, United States. *Restor. Ecol.* 23: 131-138.
- Schenk HJ, Jackson RB (2002) Rooting depths, lateral root spreads, and belowground/aboveground allometries of plants in water limited ecosystems. *J. Ecol.* 90: 480-494.
- Sheoran V, Sheoran AS, Poonia P (2010) Soil reclamation of abandoned mine land by revegetation: a review. *Int. J. Soil Sedim. Water* 3: 2-13.
- Stumpf L, Pauletto EA, Fernandes FF, Suzuki LEAS, Silva TS, Pinto LFS, Lima CLR (2014a) Perennial grasses for recovery of the aggregation capacity of a reconstructed soil in a coal mining area in southern Brazil. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 38: 327-335.
- Stumpf L, Pauletto EA, Castro RCD, Pinto LFS, Fernandes FF, Barboza FDS, Franco AMP, Gonçalves FC (2014b) Estrutura de um solo construído cultivado com diferentes espécies de poáceas. *Ciênc. Rural* 44: 2171-2177.
- Oliveira Filho LCI, Baretta D, Viapiana CM, Santos JCP (2015) Mesofauna de solo construído em área de mineração de carvão. *Rev. Cs. Agrovet.* 14: 55-64.
- Peek MS, Leffler AJ, Ivans CY, Ryel RJ, Caldwell MM (2005) Fine root distribution and persistence under field conditions of three co-occurring Great Basin species of different life form. *New Phytol.* 165: 171-180.
- Valle CB, Jank L, Resende RMS (2015) O melhoramento de forrageiras tropicais no Brasil. *Ceres* 56: 460-472.
- Vezzani FM, Mielniczuk J (2011a). Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 35: 213-223.
- Vezzani FM, Mielniczuk J (2011b) *O Solo como Sistema*. Curitiba, Brasil. 104 pp.
- Vitor Teixeira CM, Villela SDJ, Leonel FP, Fernandes CF, Almeida GO (2014) Características estruturais de uma pastagem de *Brachiaria decumbens* Stapf cv. Basilisk sob doses de nitrogênio. *Bol. Indústria. Anim.* 71: 176-182.
- Weaver JE, Zink E (1946) Length of life of roots of ten species of perennial range and pasture grasses. *Plant Physiol.* 21: 201-217.
- Wick AF, Ingram LJ, Stahl PD (2009) Aggregate and organic matter dynamics in reclaimed soils as indicated by stable carbon isotopes. *Soil Biol. Biochem.* 41: 201-209.
- Zhang L, Jinmanwang W, Bai Z, Chunjuan LV (2015) Effects of vegetation on runoff and soil erosion on reclaimed land in an opencast coal-mine dump in a loess area. *Catena* 128: 44-53.
- Zhao Z, Shahrour I, Bai Z, Fan W, Feng L, Li H (2013) Soils development in opencast coal mine spoils reclaimed for 1-13 years in the West-Northern Loess Plateau of China. *Eur. J. Soil Biol.* 55: 40-46.