

Recuperação do subsolo em área de empréstimo usada para construção de hidrelétrica¹

Subsoil reclamation in loan area used for hydroelectric construction

Marlene Cristina Alves^{2*} e Zigomar Menezes de Souza³

Resumo - Áreas degradadas referem-se a ecossistemas alterados, onde perdas ou adições são as formas mais comuns de perturbações e degradações ambientais. As “áreas de empréstimo” em hidrelétricas podem ser consideradas áreas degradadas, pois delas foram retirados os horizontes superficiais do solo. Portanto, este trabalho teve como objetivo estudar a recuperação de atributos físicos e da matéria orgânica do subsolo de um Latossolo Vermelho distrófico, degradado pela retirada de solo para construção de usina hidrelétrica, por meio de adubação verde e aplicação de calcário e gesso. A pesquisa foi implantada em 1992 e os tratamentos constituíram-se de: testemunha (solo mobilizado e vegetação espontânea); mucuna-preta; guandu até 1994, seguido por feijão-de-porco; calcário + mucuna-preta; calcário + guandu até 1994, seguido por feijão-de-porco; calcário + gesso + mucuna-preta e calcário + gesso + guandu até 1994, seguido por feijão-de-porco. Os tratamentos foram implantados seguindo o esquema em blocos casualizados com quatro repetições. Após sete anos, em 1999, foram avaliadas a porosidade do solo, a macroporosidade, a microporosidade, a densidade do solo, matéria orgânica e a produção de massa seca da braquiária. Os tratamentos adotados estão contribuindo para a recuperação dos atributos físicos do subsolo exposto, e o tratamento com mucuna-preta, sem a correção do solo, tem se mostrado mais promissor. Os efeitos da recuperação do solo estão atingindo a profundidade de 0,00-0,10 m.

Palavras-chave - Recuperação de terra. Capim braquiária. Adubação verde.

Abstract - Degraded areas are altered ecosystems where loss and excess are the most common kinds of disturbance and environmental degradation. Areas disturbed by hydroelectric plant construction can be considered as degraded areas since the superficial soil horizons have been removed. The objective of this research was to study the recovery of soil physical attributes and soil organic matter of the subsoil of a Red Latosol (Oxisol), degraded by soil removal for hydroelectric power plant construction, using green manure and applying lime and gypsum. A randomized block design was used with seven treatments and four replications. The research was started in 1992 and the treatments were: Control; *Cajanus cajan* until 1994 followed by *Canavalia ensiformis*; lime + *Stizolobium aterrimum*; lime + *Cajanus cajan* until 1994 and followed by *Canavalia ensiformis*; lime + gypsum + *Stizolobium aterrimum* and lime + gypsum + *Cajanus cajan* until 1994 and followed by *Canavalia ensiformis*. The treatments consisted of green manure, lime and gypsum. Seven years later, in 1999, the attributes analyzed were: total soil porosity, macroporosity, microporosity, soil bulk density, organic matter and brachiaria dry matter production. The treatments are contributing to the recovery of physical attributes of exposed subsoil, and the treatment with *Stizolobium aterrimum* without soil correction seems to be the most promising. Soil recuperation effects can be seen on the 0.00-0.10 m layer.

Key words - Degraded area. Physical soil attributes. Green manure. Brachiaria.

* Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 01/05/2010; aprovado em 25/03/2011

Parte da Tese do primeiro autor para concurso de Livre Docente

²Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho/UNESP, Av. Brasil, 56, Caixa Postal 31, Ilha Solteira-SP, Brasil, 15.385-000, mcalves@agr.feis.unesp.br

³Departamento de Água e Solo, Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP, Campinas-SP, Brasil, zigomarms@feagri.unicamp.br

Introdução

As áreas de empréstimo para construção de aterros em hidrelétrica constituem-se em um ecossistema degradado, pois tiveram eliminado, juntamente com a vegetação, os seus meios bióticos de regeneração como o banco de sementes, banco de plântulas, chuvas de sementes, rebrota e, camada fértil do solo (horizonte A). Apresentam, portanto, baixa resiliência, isto é, seu retorno ao estado anterior pode não ocorrer ou ser extremamente lento. Para a recuperação, é preciso selecionar e identificar espécies aptas às novas condições edáficas e que, de forma rápida, acelerem a estruturação e a formação dos horizontes mais superficiais do solo (GONÇALVES, 2008). A adaptação e desenvolvimento dessas espécies dependerão das condições físicas, químicas, biológicas e hídricas do solo, bem como das condições do microclima local.

A diversidade biológica tem papel fundamental na manutenção da integridade e no funcionamento dos ecossistemas. Essa, junto com a intensidade e longevidade das perturbações, vai determinar a resiliência dos ecossistemas. A combinação de práticas mecânicas para eliminar as restrições físicas e a adição de matéria orgânica seria suficiente para iniciar o processo de colonização espontânea da área por plantas (ALVES; SUZUKI, 2004; RODRIGUES et al., 2007). Cardoso et al. (2009) complementam que tais práticas poderiam também beneficiar a multiplicação dos fungos micorrízicos arbusculares nativos.

A revegetação de áreas originadas das obras de barragens requer técnicas adequadas, sendo importante observar a interação positiva entre adubação mineral e plantas de cobertura que tenham maior potencialidade de adição de biomassa, visto que nessas áreas de empréstimo foi removida toda a vegetação e a camada fértil do solo (ALVES; SOUZA, 2008). Estes autores estudaram o efeito de forrageiras de inverno e verão (aveia preta, sorgo, ervilhaca, guandu anão) associadas à adubação química na área de empréstimo da Itaipu Binacional, Foz do Iguaçu-PR, em um Latossolo Vermelho eutroférico, argiloso, por um período de dois anos, sendo realizadas duas subsolagens e duas gradagens e verificaram que as espécies forrageiras, associadas à adubação química, promoveram efeitos positivos na melhoria dos atributos químicos e físicos do solo.

A área estudada neste trabalho foi degradada em função da retirada de uma camada média de solo de 8,60 m do perfil do solo, para construção da parede da barragem da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira-SP. Como seqüelas da construção há a ruptura do equilíbrio entre o solo e a cobertura vegetal, e entre as áreas, onde esse processo é mais impactante, encontram-se as áreas de empréstimo, as encostas instáveis, áreas alagadiças e áreas inundadas.

Este trabalho teve como objetivo estudar a recuperação de atributos físicos e da matéria orgânica do subsolo de um Latossolo Vermelho distrófico, pela retirada de solo para construção de usina hidrelétrica, por meio de adubação verde e aplicação de calcário e gesso.

Material e métodos

A área de estudo encontra-se inserida no Planalto da Bacia Sedimentar do rio Paraná, situada à margem direita do rio Paraná, no município de Selvíria (MS) (20°22'40''S, 51°24' 41,90''W e altitude média de 338 m). O tipo climático, segundo Köppen, é Aw, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O relevo é plano a suavemente ondulado, apresentando declives muito suaves. Segundo EMBRAPA (2006) o solo original foi classificado como Latossolo Vermelho álico, textura média, muito profundo. A sua fração argila é de baixa atividade, dominada essencialmente por gibbsita e caulinita.

A Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira-SP teve o início de sua construção na década de 1960. Da área em estudo foi retirado solo para a terraplanagem e fundação da barragem, dando origem à área degradada, que recebe o nome de "área de empréstimo". Uma camada com espessura média de 8,60 m do perfil do solo original foi removida, restando parte do horizonte B. De acordo com Levantamento Detalhado dos Solos do Campus Experimental de Ilha Solteira (DEMATTE, 1980), o Latossolo em estudo apresenta espessura do horizonte A igual a 30 cm e o horizonte B com 170 cm+. Portanto, a pesquisa foi desenvolvida no subsolo, sobre o horizonte B remanescente.

O subsolo da área de estudo, no início da pesquisa, estava exposto desde 1969, demonstrando compactação superficial e baixa presença de vegetação espontânea. Em 1992 foram implantados os tratamentos para recuperação do solo. Inicialmente foi realizada a caracterização química e física do subsolo.

Os tratamentos utilizados foram: T₁ - testemunha (solo mobilizado e vegetação espontânea), T₂ - mucuna-preta, T₃ - guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco, T₄ - calcário + mucuna-preta, T₅ - calcário + guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco, T₆ - calcário + gesso + mucuna-preta e T₇ - calcário + gesso + guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco. Os mesmos foram implantados seguindo o esquema em blocos casualizados com quatro repetições. Cada parcela continha 10 x 10 m de dimensão e os blocos estavam 2 m espaçados entre si.

As espécies de adubos verdes mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum* Piper & Tracy), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC), foram semeadas e adubadas em dezembro-janeiro de cada ano e, no início do florescimento, eram roçadas e deixadas na superfície do solo.

No início da pesquisa, foi realizada a subsolagem da área, atingindo a profundidade média de 0,4 m. O preparo do solo, durante o período de estudo, foi efetuado com uma aração, utilizando-se arado de aivecas, tracionado por um trator de 110 cv de potência. Após essa operação, realizou-se uma gradagem niveladora, usando-se grade de arrasto, acoplada a um trator de 85 cv. A semeadura das espécies foi realizada manualmente; porém, os sulcos foram feitos por um conjunto composto por trator de 75 cv de potência e sulcador. Os sulcos possuíam dimensão da ordem de 0,5 m entre linhas e 0,1 m de profundidade. A densidade de semeadura dos adubos verdes foi de 10 plantas por metro linear.

A correção do solo foi baseada na caracterização química da área experimental. A aplicação de calcário, para elevar a saturação por bases a 70%, foi efetuada empregando-se a quantidade de 1.850 kg ha⁻¹ de calcário (tratamentos com calcário somente) e, no caso das parcelas com calcário e gesso, aplicou-se 520 kg ha⁻¹ de gesso e 1.380 kg ha⁻¹ de calcário, ambos incorporados no solo, sendo que 20% do CaO aplicado foi proveniente do gesso e 80% do calcário. Foi utilizado calcário dolomítico com PRNT de 70%. Em 1996 foi, novamente, realizada a correção do solo, com base na análise química, para os tratamentos com calcário e calcário mais gesso. A proporção de calcário e gesso seguiu o mesmo procedimento do início do experimento. A correção foi efetuada nos casos em que a saturação por bases estava inferior a 60%, objetivando-se elevá-la a 70%.

Em janeiro de 1997 foi semeada a cultura do milho (*Zea mays* L.) em toda a área experimental. Utilizou-se a semente AG 405 e 250 kg ha⁻¹ da fórmula 4-30-10, com 3 g kg⁻¹ de zinco, sem aplicação de calcário. Em junho de 1998, foi semeada a aveia-preta (*Avena strigosa* Schieb), houve boa germinação, porém, por falta de água, as plantas não resistiram. Em fevereiro de 1999 foi semeada a *Brachiaria decumbens* Stapf.

A amostragem do solo foi realizada em dezembro de 1992, antes da implantação do experimento, e em dezembro de 1993, 1995, 1997 e 1998. As profundidades de coletas das amostras foram 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m com quatro repetições por tratamento. As amostras foram coletadas entre os meses de outubro e novembro e cada amostra composta foi originada de quatro pontos (amostra simples) por parcela.

Para determinação da porosidade total e densidade do solo foram coletadas amostras indeformadas em anéis volumétricos com capacidade de 10⁻⁴ m³. A microporosidade foi determinada em mesa de tensão e correspondeu à umidade volumétrica da amostra submetida a uma tensão de -0,006 MPa, após saturação. A porosidade total e a densidade do solo foram obtidas segundo EMBRAPA (1997) e a macroporosidade por diferença entre a porosidade total e a microporosidade. A determinação dos teores de matéria orgânica foi realizada segundo a metodologia proposta por Rajj et al. (2001).

A produção de matéria seca da braquiária foi avaliada em julho de 1999 e fevereiro de 2000, usando uma área útil de 1,0 m² em três pontos por parcela. A massa de matéria seca foi obtida após secagem em estufa de ventilação forçada, à temperatura média de 60-70 °C, até atingir massa em equilíbrio, sendo expressa em kg ha⁻¹.

Na análise dos resultados dos atributos físicos (macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo) e da matéria orgânica do solo foram realizados contrastes entre a testemunha e demais tratamentos (T₁ x demais); entre os tratamentos com os adubos verdes, sem a correção do solo e uso do gesso (T₃ x T₄); entre os tratamentos com os adubos verdes, com a correção do solo e sem gesso (T₄ x T₅); entre os tratamentos com adubos verdes, com aplicação de calcário e gesso (T₆ x T₇); entre o tratamento com o mesmo adubo verde, com e sem aplicação de calcário (T₂ x T₄ e T₃ x T₅); entre o tratamento com o mesmo adubo verde, com aplicação de calcário e calcário mais gesso (T₄ x T₆ e T₅ x T₇). Estes contrastes foram realizados analisando os atributos físicos (macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo) e teor de matéria orgânica por profundidade de solo estudada e por época de avaliação. Foi usado o programa computacional SAS (SCHLOTZHAVER; LITTELL, 1997) para a realização da análise estatística.

Resultados e discussão

No ano de 1993 (TAB. 1), para a macroporosidade e densidade do solo e, nos anos de 1995, 1997 e 1998 (TAB. 2 a 4) somente para a macroporosidade, observou-se na profundidade de 0,00-0,10 m que houve diferença significativa entre o contraste do tratamento testemunha com os demais tratamentos estudados, demonstrando que os tratamentos de recuperação apresentaram melhorias na área degradada. Resultados semelhantes foram observados por Rodrigues et al. (2007), os quais estudando a dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma cerrado, verificaram que espécies nativas arbóreas associadas com gramíneas estão recuperando o solo.

Tabela 1 - Teste de significância para os contrastes referentes aos atributos macroporosidade ($m^3 m^{-3}$), microporosidade ($m^3 m^{-3}$), porosidade total ($m^3 m^{-3}$), densidade do solo ($kg m^{-3}$) e teor de matéria orgânica ($g dm^{-3}$), nas profundidades de 0,00-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m para o ano de 1993

Atributos do solo	Contrastes entre tratamentos									
	T ₁ x demais	T ₂ x T ₃	T ₄ x T ₅	T ₆ x T ₇	T ₂ x T ₄	T ₂ x T ₆	T ₄ x T ₆	T ₃ x T ₅	T ₃ x T ₇	T ₅ x T ₇
1993	Profundidade 0,00-0,10 m									
Macroporosidade	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Microporosidade	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Porosidade total	ns	*	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns
Densidade	*	*	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns
Matéria orgânica	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
	Profundidade 0,10-0,20 m									
Macroporosidade	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Microporosidade	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Porosidade total	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Densidade	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Matéria orgânica	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Profundidade 0,20-0,40 m									
Macroporosidade	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Microporosidade	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Porosidade total	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Densidade	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Matéria orgânica	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

* significativo ao nível de 5%; ns não significativo pelo teste F; T₁- testemunha (solo mobilizado e vegetação espontânea), T₂- mucuna-preta, T₃- guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco, T₄- calcário mucuna-preta, T₅- calcário+guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco, T₆- calcário+gesso+mucuna-preta e T₇- calcário+gesso+guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco

Na profundidade de 0,00-0,10 m, verificou-se que, a partir de 1993, as condições da macroporosidade tornaram-se adequadas para um bom desenvolvimento do sistema radicular das plantas (TAB. 1). Tormena et al. (2008) relataram que o valor mínimo de macroporosidade para que não seja prejudicada a aeração e o desenvolvimento do sistema radicular é de $0,10 m^3 m^{-3}$. Dessa forma, em 1993, a macroporosidade, em média, encontrava-se com o valor mínimo considerado suficiente para o desenvolvimento das raízes, para a camada de 0,00-0,10 m (TAB. 6). Resultados semelhantes foram observados por Mendes et al. (2006), os quais afirmam que avaliações da qualidade do solo para os atributos físicos em áreas degradadas, devem ocorrer na profundidade de até 0,10 m, devido ao maior acúmulo de restos culturais promovendo um aumento no teor de matéria orgânica.

Para as profundidades de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m observa-se que os tratamentos com plantas de cobertura e aplicação de calcário e gesso não promoveram melhorias para a macroporosidade em relação ao tratamento testemunha (TAB. 1). Concordando com os resultados obtidos por Suzuki e Alves (2006), pois segundo os autores devido à rápida decomposição dos resíduos de plantas de cobertura (leguminosas), os efeitos temporários das substâncias originadas da ação dos microrganismos são curtos, não promovendo melhorias na estrutura do solo, com poucos benefícios aos atributos físicos do solo principalmente em subsuperfície. Segundo Alves e Souza (2008) o efeito da adubação verde em áreas degradadas se dá ao longo prazo de implantação de sistemas de recuperação.

Tabela 2 - Teste de significância para os contrastes referentes aos atributos macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), densidade do solo (kg m^{-3}) e teor de matéria orgânica (g dm^{-3}), nas profundidades de 0,00-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m para o ano de 1995

Atributos do solo	Contrastes entre tratamentos									
	T ₁ x demais	T ₂ x T ₃	T ₄ x T ₅	T ₆ x T ₇	T ₂ x T ₄	T ₂ x T ₆	T ₄ x T ₆	T ₃ x T ₅	T ₃ x T ₇	T ₅ x T ₇
1995	Profundidade 0,00-0,10 m									
Macroporosidade	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Microporosidade	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Porosidade total	ns	*	*	ns	*	*	*	ns	ns	Ns
Densidade	ns	*	*	ns	*	*	*	ns	ns	ns
Matéria orgânica	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
	Profundidade 0,10-0,20 m									
Macroporosidade	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Microporosidade	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Porosidade total	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Densidade	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Matéria orgânica	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Profundidade 0,20-0,40 m									
Macroporosidade	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Microporosidade	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Porosidade total	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Densidade	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Matéria orgânica	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

* significativo no nível de 5%; ns não significativo pelo teste F; T₁- testemunha (solo mobilizado e vegetação espontânea), T₂- mucuna-preta, T₃- guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco, T₄- calcário mucuna-preta, T₅- calcário+guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco, T₆- calcário+gesso+mucuna-preta e T₇- calcário+gesso+guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco

A área em estudo, em 1992, apresentava em média, densidade do solo igual a $1,65 \text{ kg dm}^{-3}$ e macroporosidade de $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (TAB. 5). Segundo Secco et al. (2005) a área encontra-se em estágio avançado de degradação, uma vez que densidades na faixa de $1,6$ a $1,8 \text{ kg dm}^{-3}$ e macroporosidade do solo abaixo de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, impedem o desenvolvimento do sistema radicular das culturas. Segundo Souza e Alves (2003) o solo de uma área de cerrado natural localizado próximo ao local de estudo, apresenta densidade do solo de $1,17 \text{ kg dm}^{-3}$ (0,00-0,10 m), $1,30 \text{ kg dm}^{-3}$ (0,10-0,20 m) e $1,26 \text{ kg dm}^{-3}$ (0,20-0,40 m) e macroporosidade de $0,26 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (0,00-0,10 m), $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (0,10-0,20 m) e $0,19 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (0,20-0,40 m). Portanto, a atual camada superficial do solo, suporte para as plantas, estava com suas condições físicas alteradas, comparadas com a situação da camada superficial deste solo originalmente.

Para o ano de 1993 a porosidade total e densidade do solo nos contrastes T₂xT₃, T₂xT₄ e T₂xT₆ apresentaram diferenças significativas na profundidade de 0,00-0,10 m (TAB. 1). Portanto, o tratamento de recuperação com mucuna-preta se mostrou eficaz na recuperação da porosidade e densidade do solo um ano após a instalação do experimento. No ano de 1995 observou diferença significativa para o tratamento com mucuna-preta (contrastos T₂xT₃, T₂xT₄ e T₂xT₆) e para o tratamento com calcário mais mucuna-preta na profundidade de 0,00-0,10 m para os atributos porosidade e densidade do solo (contrastos T₄xT₅ e T₄xT₆) (TAB. 2). Nos anos de 1997 e 1998 todos os atributos físicos estudados apresentaram diferença significativa para o tratamento com calcário mais mucuna-preta na profundidade de 0,00-0,10 m (TAB. 3 e 4). Verifica-se para todos os anos estudados que a planta

Tabela 3 - Teste de significância para os contrastes referentes aos atributos macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), densidade do solo (kg m^{-3}) e teor de matéria orgânica (g dm^{-3}), nas profundidades de 0,00-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m para o ano de 1997

Atributos do solo	Contrastes entre tratamentos									
	T ₁ x demais	T ₂ x T ₃	T ₄ x T ₅	T ₆ x T ₇	T ₂ x T ₄	T ₂ x T ₆	T ₄ x T ₆	T ₃ x T ₅	T ₃ x T ₇	T ₅ x T ₇
1997	Profundidade 0,00-0,10 m									
Macroporosidade	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Microporosidade	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Porosidade total	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
Densidade	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
Matéria orgânica	ns	*	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns
	Profundidade 0,10-0,20 m									
Macroporosidade	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Microporosidade	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Porosidade total	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Densidade	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Matéria orgânica	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
	Profundidade 0,20-0,40 m									
Macroporosidade	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Microporosidade	ns	ns	ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns
Porosidade total	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Densidade	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
Matéria orgânica	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns

* significativo no nível de 5%; ns não significativo pelo teste F; T₁- testemunha (solo mobilizado e vegetação espontânea), T₂- mucuna-preta, T₃- guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco, T₄- calcário mucuna-preta, T₅- calcário+guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco, T₆- calcário+gesso+mucuna-preta e T₇- calcário+gesso+guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco

de cobertura mucuna-preta está recuperando as áreas de empréstimo para construção de hidrelétrica.

Com relação à densidade do solo observa-se que os tratamentos estão recuperando esse atributo físico na profundidade de 0,00-0,10 m, com destaque para o tratamento com mucuna-preta (TAB. 1 e 5). Para as demais profundidades do solo não houve diferença estatística para a densidade do solo, demonstrando que os tratamentos de recuperação não alteraram esse atributo do solo nas profundidades abaixo de 0,10 m. Potter et al. (1988) comparando um solo natural com solos construídos, os quais possuíam de 4 a 11 anos de recuperação, observaram valores altos de densidade, tanto nas camadas superficiais como nas mais profundas. Segundo Power et al. (1978), é comum encontrar valores de densidade do solo de 1,4 a 1,7 kg m^{-3} em áreas degradadas.

Na profundidade de 0,00-0,10 m, houve diminuição da densidade do solo e aumento da macroporosidade, comparando-se o ano de 1992 com 1998, demonstrando a evolução dos efeitos dos tratamentos na recuperação das condições físicas do subsolo (TAB. 5). Na profundidade de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, o mesmo comportamento observado para a porosidade total aconteceu para a densidade do solo e macroporosidade, os tratamentos adotados não atingiram essa camada. Rodrigues et al. (2007), estudando a dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas, observaram que as coberturas utilizadas com o objetivo de recuperação do solo apresentaram efeitos positivos sobre a densidade do solo e macroporosidade nos primeiros 0,10 m.

A quantidade e a qualidade da matéria orgânica são importantes para a recuperação da estrutura do solo. A

Tabela 4 - Teste de significância para os contrastes referentes aos atributos macroporosidade ($m^3 m^{-3}$), microporosidade ($m^3 m^{-3}$), porosidade total ($m^3 m^{-3}$), densidade do solo ($kg m^{-3}$) e teor de matéria orgânica ($g dm^{-3}$), nas profundidades de 0,00-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m para o ano de 1998

Atributos do solo	Contrastes entre tratamentos									
	T ₁ x demais	T ₂ x T ₃	T ₄ x T ₅	T ₆ x T ₇	T ₂ x T ₄	T ₂ x T ₆	T ₄ x T ₆	T ₃ xT ₅	T ₃ xT ₇	T ₅ xT ₇
1998	Profundidade 0,00-0,10 m									
Macroporosidade	*	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
Microporosidade	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
Porosidade total	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
Densidade	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
Matéria orgânica	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Profundidade 0,10-0,20 m									
Macroporosidade	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Microporosidade	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Porosidade total	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Densidade	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Matéria orgânica	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Profundidade 0,20-0,40 m									
Macroporosidade	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Microporosidade	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Porosidade total	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Densidade	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Matéria orgânica	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

* significativo no nível de 5%; ns não significativo pelo teste F; T₁- testemunha (solo mobilizado e vegetação espontânea), T₂- mucuna-preta, T₃- guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco, T₄- calcário mucuna-preta, T₅- calcário+guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco, T₆- calcário+gesso+mucuna-preta e T₇- calcário+gesso+guandu até 1994, após substituído por feijão-de-porco

quantidade produzida entre os tratamentos, até o momento, tem sido semelhante e provavelmente o produto gerado da decomposição dos adubos verdes usados (mucuna-preta e feijão-de-porco) estão proporcionando os mesmos efeitos na gênese da estrutura do subsolo em estudo (TAB. 1 a 4). De 1992 a 1997 não houve diferença no teor de matéria orgânica do solo (TAB. 1; 2; 3 e 5). Resultados semelhantes foram observados por Taboada-Castro et al. (2009) que atribuíram o fato à rápida mineralização da matéria orgânica devido às altas temperaturas da região. Os autores também mencionam a importância do manejo e retorno dos resíduos culturais ao solo para os processos e mecanismos que envolvem a agregação.

Para o ano de 1998 observou-se o aumento significativo no teor de matéria orgânica do solo,

provavelmente devido à influência dos restos vegetais da cultura do milho, que foi instalada em 1997 (TAB. 4 e 5). A produção de massa seca do milho foi em média 2.373 kg ha⁻¹, variando de 1.616 kg ha⁻¹ para a testemunha a 3.520 kg ha⁻¹ para o tratamento calcário+gesso+mucuna-preta. Segundo Silva e Mielniczuk (1997) as gramíneas, por apresentarem maior densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular no solo, favorecem as ligações dos pontos de contato entre partículas minerais e agregados, contribuindo para sua formação e estabilidade, apresentando grande potencial para a recuperação da estrutura do solo em áreas degradadas.

Houve diferença significativa entre os tratamentos e entre os anos de avaliação para produção de massa seca da braquiária, porém, não houve interação significativa

Tabela 5 - Características físicas e teor de matéria orgânica de uma área utilizada como empréstimo de material para aterro, em processo de recuperação, por meio do uso de adubos verdes e aplicação de calcário e gesso, em função da profundidade e ano de avaliação

Ano	Profundidade (m)		
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)			
1992	0,08	0,08	0,07
1993	0,11	0,07	0,05
1995	0,19	0,09	0,06
1997	0,17	0,08	0,07
1998	0,18	0,13	0,06
Microporosidade (m ³ m ⁻³)			
1992	0,25	0,25	0,26
1993	0,33	0,30	0,29
1995	0,26	0,28	0,28
1997	0,24	0,27	0,28
1998	0,25	0,26	0,28
Porosidade Total (m ³ m ⁻³)			
1992	0,38	0,33	0,32
1993	0,44	0,37	0,34
1995	0,45	0,37	0,33
1997	0,41	0,35	0,34
1998	0,43	0,39	0,34
Densidade do Solo (kg dm ⁻³)			
1992	1,52	1,69	1,74
1993	1,41	1,63	1,72
1995	1,38	1,64	1,77
1997	1,46	1,71	1,77
1998	1,40	1,56	1,78
Teor de Matéria Orgânica (g dm ⁻³)			
1992	1,86	1,67	1,62
1993	2,46	2,11	2,00
1995	2,21	1,93	2,11
1997	2,25	1,71	1,54
1998	5,39	4,64	4,00

entre tratamentos x anos (TAB. 6). O tratamento mucuna-preta diferiu do tratamento testemunha e não diferiu dos demais. Com relação à massa seca, o tratamento mucuna-preta produziu a mais 86%; 64%; 71%; 41%; 18% e 30%, respectivamente, do que os tratamentos feijão-de-porco, calcário + mucuna-preta, calcário + feijão-de-porco,

calcário + gesso + mucuna-preta e calcário + gesso + feijão-de-porco. O melhor desempenho da braquiária sobre o solo que havia recebido o tratamento com mucuna-preta pode estar relacionado às características fenológicas da mucuna-preta, quando comparada com o feijão-de-porco. A mucuna-preta tem características fisiológicas que favorecem a reciclagem de nutrientes. Este fato associado à presença de fungos micorrízicos arbusculares nativos contribui para o estabelecimento de gramíneas nos solos de cerrado e em solos de áreas degradadas (MARTINS et al., 1999).

Tabela 6 - Produção média de massa seca por braquiária cultivada em área utilizada como empréstimo de material para aterro, em processo de recuperação, por meio do uso de adubos verdes e aplicação de calcário e gesso, para os anos de 1999 e 2000

Tratamento	1999	2000	Média
	Massa seca (kg ha ⁻¹)		
Testemunha	1.699	5.101	3.400 b
Mucuna-preta	2.889	9.763	6.326 a
Feijão-de-porco	1.738	5.999	3.869 ab
Calcário + Mucuna preta	1.804	5.602	3.703 ab
Calcário + Feijão de porco	1.452	7.533	4.493 ab
Calcário + Gesso + M. preta	1.966	7.923	5.357 ab
Calcário + Gesso + F. de porco	2.249	7.446	4.848 ab
DMS - Tukey a 5 %	2.664		
Ano			
1999	1.971 b		
2000	7.052 a		
DMS - Tukey a 5%	928		

Médias, seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, no nível de 5% de significância pelo teste de Tukey

O potencial máximo de produção de forragem para a *Brachiaria* spp é de 32.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de massa seca (SOARES et al., 2000). A área em recuperação está com produção de massa seca de braquiária de 5.000 kg ha⁻¹ano⁻¹. Por se tratar de um subsolo exposto, demonstra que o mesmo está recuperando as suas propriedades, adquirindo capacidade para o desenvolvimento de gramíneas forrageiras. Rodrigues et al. (2007) estudando a dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas por remoção de camada de solo para aterro da barragem, dentro do bioma cerrado, verificaram que a braquiária apresentou resultados satisfatórios na

recuperação de áreas degradadas, com os atributos físicos nas áreas em recuperação aproximando-se da área com cerrado natural.

Conclusão

Os tratamentos adotados estão contribuindo para a recuperação dos atributos físicos do subsolo exposto, e o tratamento com mucuna-preta, sem a correção do solo, tem se mostrado mais promissor para esta finalidade. Os efeitos dos tratamentos adotados para a recuperação do solo têm sido verificados até a profundidade de 0,10 m.

Referências

- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. E. A. S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Scientiarum**, v. 26, n. 01, p. 27-34, 2004.
- ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. Recuperação de área degradada por construção de hidroelétrica com adubação verde e corretivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 06, p. 2505-2516, 2008.
- CARDOSO, E. L. *et al.* Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 06, p. 631-637, 2009.
- DEMATTE, J. L. I. Levantamento detalhado dos solos do campus experimental de Ilha Solteira. Piracicaba: ESALQ/USP, 1980. 114p. (Mimeografado).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306 p.
- GONÇALVES, F. C. **Efeito de plantas de cobertura sobre os atributos físicos de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota-RS após três anos**. 2008. 91f. Dissertação (Mestrado em Solo) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- MARTINS, C. R.; MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. Contribuição de fungos micorrízicos arbusculares nativos no estabelecimento de *Aristida setiifolia* Kunth em áreas degradadas do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 04, p. 665-674, 1999.
- MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá-MG. **Cerne**, v. 12, n. 03, p. 211-220, 2006.
- POTTER, K. N.; CARTER, F. S.; DOLL, E. C. Physical properties of constructed and undisturbed soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, n. 05, p. 1435-1438, 1988.
- POWER, J. F.; RIES, R. E.; SANDOVAL, L. M. Reclamation of coal-mined land the Northern Great Plains. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 33, n. 02, p. 69-74, 1978.
- RAIJ, B. van *et al.* (Eds.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.
- RODRIGUES, G. B.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 01, p. 73-80, 2007.
- SCHLOTZHAVER, S. D.; LITTELL, R. C. SAS: **System for elementary statistical analysis**. 2. ed. Cary: SAS, 1997. 905 p.
- SECCO, D. *et al.* Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 03, p. 407-414, 2005.
- SILVA, L. F.; MIELNICZUK, J. Ação do Sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 01, p. 113-117, 1997.
- SILVA, M. L. N. *et al.* Rotação adubo verde-milho e adsorção de fósforo em Latossolo Vermelho-Escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 04, p. 649-654, 1997.
- SOARES, W. V. *et al.* Avaliação do fosfato natural de gafsa para recuperação de pastagem degradada em Latossolo Vermelho-Escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 04, p. 819-825, 2000.
- SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Acta Scientiarum**, v. 25, n. 01, p. 27-34, 2003.
- SUZUKI, L. E. A. S.; ALVES, M. C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. **Bragantia**, v. 65, n. 01, p. 121-127, 2006.
- TABOADA-CASTRO, M. M. *et al.* . Revegetation on a removed topsoil: Effect on aggregate stability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 40, p. 771-786, 2009.
- TORMENA, C. A. *et al.* Quantificação da resistência tênsil e da friabilidade de um latossolo vermelho distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 03, p. 943-952, 2008.