**FÍSICA, QUÍMICA Y FÍSICO-QUÍMICA DE LOS SUELOS**

**Efeitos do biochar, culturas de cobertura e lodo de esgoto nos atributos físicos do solo**

**Effect of biochar, cover crops and sewage sludge on soil physical attributes**

Eduardo Pradi Vendruscolo1\*, Marlene Cristina Alves2,

Aguinaldo José Freitas Leal3, Epitácio José de Souza2, Sebastião Nilce Souto Filho45

1 Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Avenida Esperança, s/n, Campus Samambaia, Goiânia, Goiás, Brasil, CEP: 74690-900.

2 Universidade Estadual Paulista, Escola de Engenharia, Avenida Brasil Sul, 56, Centro, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil, CEP: 15385-000.

3 Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Avenida Rio Paranaíba, 1229, Iturama, Minas Gerais, Brasil, CEP: 38280-000.

4 Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Rodovia Graziela Maciel Barroso , Km 12, 25 - Zona Rural, Aquidauana, Mato Grosso do Sul,

Brasil, CEP: 79200-000.

\* Autor de contacto: agrovendruscolo@gmail.com

Recibido: 11/03/2017

Recibido con revisiones: 19/09/2017

Aceptado: 25/09/2017

**RESUMO**

O manejo incorreto dos solos culmina na formação de grandes áreas com reduzida capacidade de ustentação da vida. A recuperação dessas áreas possui elevada importância ecológica, social e econômica. Assim, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar os efeitos da adição do biochar a tratamentos pré-estabelecidos há 9 anos para a recuperação de um Latossolo Vermelho. O delineamento adotado foi definido em blocos casualizados, em esquema fatorial 6x2, seis tratamentos (T1 – Solo exposto; T2 - Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* S.) (GA); T3 - Gonçalo- alves + *Crotalária júncea* L. (GA+CR); T4 - Gonçalo-alves + *Canavalia ensiformis* L. (GA+FP); T5 - Gonçalo-alves + lodo de esgoto (60 t ha-1) + *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens* S. (GA+BR+LE); T6 – Mata nativa de Cerrado) e duas épocas de avaliação do solo, anteriormente e após a aplicação do biochar. Amostras de cada parcela foram coletadas em quatro profundidades (0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m), nas quais foram avaliadas as características de porosidade, densidade, infiltração e resistência à penetração do solo. A macroporosidade do solo, de

modo geral, foi afetada nas camadas até 0,10 m de profundidade, onde todos os tratamentos, com exceção dos tratamentos GA+CR e GA+BR+LE na profundidade de 0,05-0,10 m, apresentaram-se estatisticamente superiores à área degradada original quando houve a aplicação do biochar. Portanto, em curto prazo, a aplicação do biochar aumenta a macroporosidade da camada superficial, pouco interferindo nas demais propriedades físicas do Latossolo Vermelho degradado. No entanto, os tratamentos com adubos verdes e lodo de esgoto resultam em melhoras significativas nas propriedades do solo estudadas.

**Palavras chave:** área de empréstimo; adubação orgânica; resíduos agroindustriais, solo degradado, Latossolo Vermelho.

**ABSTRACT**

Improper soil management culminates in the formation of large areas with reduced life sustaining capacity. The recovery of these areas has high ecological, social and economic importance. The present work was developed with the objective of evaluating the effects of the addition of biochar to treatments previously established 9 years ago for the recovery of an Oxisol. The study design was set in a randomized block design with factorial 6x2, six treatments (T1 – Exposed soil, T2 – Goncalo-alves (*Astronium fraxinifolium* S.) (GA), T3 - Goncalo-alves + *Crotalaria júncea* L. (GA+CR), T4 - Goncalo- alves + *Canavalia ensiformis* L. (GA+FP); T5 - Goncalo-alves and sewage sludge (60 t ha-1) + *Urochloa* (Syn . *Brachiaria*) *decumbens* S. (GA+BR+LE); T6 - Native Cerrado Forest) and two periods of soil evaluation, before and after the application of biochar. Soil macroporosity in general, was affected in layers up to 0.10 m, where all treatments, except for GA+CR and GA+BR+LE treatments at a depth of 0.05-0.10 m, showed statistical superiority to the original degraded area when there was the application of biochar. Therefore, in the short term, the application of biochar increases

the macroporosity in the surface layer, having little impact in other physical properties of a degraded Oxisol. However, treatments with green manures and sewage sludge resulted in significant improvements in the soil properties studied.

**Key words:** borrow area; organic fertilizer; agro-industrial waste, degraded soil, Oxissol.

**INTRODUÇÃO**

Mundialmente, mais de 35 milhões de km²

apresentam solos degradados ou em processo de

degradação. Essa área corresponde a aproximadamente

23,5 % da litosfera, afetando cerca de

um bilhão e meio de pessoas (Bai et al., 2008).

Deve-se destacar que grande parte dessa degradação

ocorre em função do fator humano, principalmente

da agricultura e construção civil.

A grande demanda por energia elétrica, combinada

ao grande potencial hídrico do Brasil, torna

a construção de hidroelétricas a principal forma

de obtenção de energia. Conforme a Agência Nacional

de Energia Elétrica (2013), o país tem 204

empreendimentos, os quais correspondem a 66

% do potencial instalado. Mesmo sendo essa uma

alternativa tecnológica para produção de energia

considerada ambientalmente mais vantajosa em

relação às demais, a formação dos reservatórios

implica a ocorrência de diversos impactos ao ambiente,

atingindo elementos físicos, biológicos e

socioeconômicos da região (CESP, 1998).

A busca pela recuperação de uma área degradada

implicará o reestabelecimento das atividades

relacionadas à melhoria da qualidade do solo.

Tal ato consistirá em condições que favorecem a

formação de um horizonte A. Esse será o promotor

do processo que culminará no surgimento

dos outros horizontes devido à alta atividade

biológica, conforme o condicionamento natural

(Kitamura *et al*., 2008). No entanto, este é um

processo lento quando conduzido naturalmente,

sem a introdução de técnicas para a aceleração

da recuperação.

A incorporação de matéria orgânica e de carbono

ao solo é essencial ao processo de recuperação

de um solo degradado. Uma alternativa para

aumentar o carbono do solo pode ser a adoção

de uma fonte mais estável. Resultante da pirólise

rápida de resíduos orgânicos, o biochar possui

alto teor de carbono, além de conter quantidades

consideráveis de N, P, S e uma grande área superficial.

Esse material, de elevada estabilidade,

fornece abrigo para os microrganismos edáficos

e pode atuar como sequestrador de carbono, impedindo

as emissões para a atmosfera (Nóbrega,

2011).

Em consequência ao potencial para a utilização

do biochar, verifica-se constante elaboração

de estudos relativos à sua produção e à utilização.

A elaboração de técnicas voltadas ao tratamento

de resíduos provenientes de diferentes processos

agroindustriais pode culminar em melhor destinação

a esses produtos, evitando-se a contaminação

do ambiente devido a fatores de má gestão,

tais como armazenamento inadequado. Em complemento,

os produtos obtidos podem retornar ao

sistema produtivo de forma a colaborar para os

aumentos dos estoques nutricionais do solo (Vendruscolo

*et* al., 2016), manutenção da atividade

biológica (Lehmann *et al*., 2011) e, devido a sua

estrutura, propiciar alterações nas propriedades

físicas (Hardie *et al*., 2014).

Tendo em vista a importância do disposto anteriormente,

e no sentido de buscar alternativas

viáveis para recuperar essas áreas, o presente trabalho

foi desenvolvido com o objetivo de avaliar

os efeitos, em curto prazo, da adição do biochar

a tratamentos pré-estabelecidos há 9 anos para a

recuperação de um Latossolo Vermelho.

**MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi conduzido em uma área inserida

no Planalto da Bacia Sedimentar do rio Paraná,

situada à margem direita do rio Paraná, no município

de Selvíria, estado de Mato Grosso do Sul,

Brasil (20o22’40’’S, 51o24’ 41,90’’W e altitude

média de 338 m). O tipo climático caracterizado

como Aw, tropical úmido, chuvoso no verão

e seco no inverno, segundo a classificação de

Köppen (Kitamura et al., 2008). O relevo local é

plano a suavemente ondulado, apresentando declives

muito suaves (Demattê, 1980).

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho,

muito profundo e com textura média (20-

35% de argila). A sua fração argila é de baixa

atividade, dominada essencialmente por gibbsita

e caulinita (Demattê, 1980; Santos *et al*., 2013).

A degradação da área onde o experimento foi

instalado se deu com a retirada de uma camada

com cerca de 8,60 m para terraplanagem e fundação

da barragem da usina hidroelétrica de Ilha

Solteira, expondo assim o subsolo do local, esta área recebe a denominação de “área de empréstimo”.

Este subsolo, no início das atividades de

pesquisa, estava exposto desde 1969 demonstrando

compactação superficial e baixa presença

de vegetação espontânea (Alves & Souza, 2011).

O início das atividades para a recuperação do solo

se deu em 2004, quando foi realizada a caracterização

física do solo na camada de 0,00-0,20

m, obtendo as seguintes características: Em solo

original de cerrado a média de macroporosidade,

microporosidade, porosidade total e densidade

do solo foi de 17%, 23%, 40% e 1,45 kg dm-3,

respectivamente, enquanto no solo presente na

área de empréstimo, para essas mesmas variáveis

foram observadas médias de 6%, 28%, 34%

e 1,73 kg dm-3, respectivamente.

Em 2004 constaram do preparo da área, limpeza

superficial, subsolagem e gradagens (aradora

e niveladora). Também neste ano foi realizada

uma única calagem na dose de 2,0 t ha-1 e em

seguida uma gradagem para incorporação, exceto

no tratamento com solo exposto, que não passou

por nenhum tipo de manejo.

Os tratamentos para recuperação são compostos

por uma espécie arbórea nativa de cerrado,

a Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* S.), a

qual foi implantada no ano de 2004 em espaçamento

de 3 m x 2 m, totalizando 25 plantas

por parcela experimental (150 m2). Nessa mesma

época realizou-se a semeadura de braquiária

(*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens* S.), utilizando-

se 20 kg ha-1 de sementes, crotalária (*Crotalaria*

*júncea* L.), cultivada em densidade de sementes,

a 35 sementes por metro, espaçadas em

0,50 m e o feijão-de-porco, (*Canavalia ensiformis*

L.) em espaçamento de 0,50 m entrelinhas com

10 sementes por metro. Anualmente foi realizada

a semeadura da crotalária e do feijão-de-porco,

os quais foram roçados em pleno florescimento,

enquanto a braquiária foi manejada por roçagem

uma vez ao ano, sem incorporação dos restos vegetais

ao solo.

O delineamento para a continuidade da pesquisa

foi em blocos casualizados, num esquema

fatorial 6 x 2, representado pelos seis tratamentos

e a duas épocas de coleta de solo, anteriormente

a aplicação do biochar e seis meses após a adição

do biochar (15 t ha-1) aos tratamentos implantados

no ano de 2004, com exceção da vegetação

natural de Cerrado e solo exposto.

A composição dos tratamentos, anteriormente

à aplicação do biochar, foi assim definida: T1

– Solo exposto; T2 - Gonçalo-alves (*Astronium*

*fraxinifolium* S.) (GA); T3 - Gonçalo-alves +

crotalária (*Crotalária júncea* L.) (GA+CR); T4 -

Gonçalo-alves + feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*

L.) (GA+FP); T5 - Gonçalo-alves + braquiária

(*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens*

S.) + lodo de esgoto (60 t ha-1) (GA+BR+LE);

T6 – Mata nativa de Cerrado.

O biochar foi obtido pela pirólise (queima em

altas temperaturas e baixos níveis de oxigênio)

da cama de aviário e teve sua composição previamente

analisada por análise laboratorial para

obtenção das características (**Tabela 1**). Este foi

aplicado na forma de coroamento em torno de

nove plantas de Gonçalo-alves escolhidas aleatoriamente

em cada parcela, a 30 cm de distância

da base do caule e incorporado à profundidade de

20 cm no solo.

**Tabela 1**. Composição química de biochar.

**Table 1**. Chemical composition of biochar.

Para as análises dos atributos físicos do solo

foram coletadas amostras indeformadas das profundidades

de 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20

e 0,20-0,40 m, em três pontos por parcela, sobre

o sulco de aplicação do biochar, para a determinação

da macroporosidade, microporosidade, porosidade

total e densidade do solo, seguindo-se

processadas segundo metodologia descrita pela

Embrapa (1997).

A infiltração de água no solo foi avaliada sobre

o sulco de aplicação do biochar e fora deste

sulco, empregando-se a metodologia proposta

por Zhang (1997), onde se se utilizou um mini

infiltrômetro de disco (Decagon Devices®). Para

verificação da resistência do solo à penetração foi

utilizando penetrômetro eletrônico (FALKER PenetroLOG

), com aptidão eletrônica para aquisição

de dados. O penetrômetro foi configurado para

registrar leituras a cada 0,01 m de incremento

de profundidade até 0,40 m. Juntamente com os

testes de resistência, foram coletadas amostras

de solo para a determinação da sua umidade a

base de massa, utilizando-se o método clássico

de pesagem (Embrapa, 1997). Para estas avaliações,

seis pontos em cada parcela, três sobre

o sulco e três fora do sulco, foram estabelecidos.

Os dados resultantes das coletas foram analisados

efetuando-se a análise de variância e a

comparação entre as médias foi utilizado o teste

de Tukey, com nível de significância de 0,05.

O software estatístico utilizado foi o SISVAR 5.6

(Ferreira, 2014).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A macroporosidade do solo, de modo geral, foi

afetada principalmente nas camadas até a profundidade

0,10 m, corroborando com os resultados

observados por Alves *et al*. (2012). Nesta

camada todos os tratamentos, com exceção dos

tratamentos GA+CR e GA+BR+LE na profundidade

de 0,05-0,10 m, apresentaram-se superiores

à área degradada original quando houve a

aplicação do biofertilizante (**Tabela 2**).

O solo que recebeu a aplicação de biochar na

camada superior (0-0,05 m), apresenta condições

físicas consideradas ótimas para o desenvolvimento

radicular das plantas, segundo descrição

de Tormena *et al*. (2008). Pois, essa camada de

solo apresentou aeração com valores superiores

a 10% (**Tabela 2**). Essas alterações podem ser

resultantes da alta relação C/N do produto, implicando

em um aumento no tamanho e na estabilidade

dos agregados do solo e, por consequência,

aumento da macroporosidade (Alves *et al*.,

2012).

A adição do biochar como matéria orgânica

também é uma ação importante na busca por

maior atividade dos micro-organismos edáficos,

proporcionando-lhes abrigo (Nóbrega, 2011). Entretanto,

no presente trabalho o resultado obtido

pode ainda estar relacionado ao ato de incorporação

do biofertilizante ao solo através da abertura

dos sulcos de aplicação e posterior fechamentos

destes, inferindo na criação de poros pela ação

física do revolvimento.

Diferentemente da macroporosidade, a microporosidade

do solo não foi alterada pelos tratamentos

instalados no ano de 2004 ou pela aplicação

do biochar visando a recuperação do solo

degradado. Constatou-se apenas superioridade

da mata nativa de Cerrado em relação à área degradada

em recuperação (**Tabela 2**). Resultado

esperado em função do grande aporte de matéria

orgânica, fornecido ao solo pelas plantas nativas,

pela atividade biológica decorrente das condições

naturais e por esta área não ter sofrido alterações

físicas pelo trânsito de maquinas ou outros tipos

de atividades antrópicas.

Os mesmos fatores que favoreceram o aumento

da macroporosidade também influenciaram a

porosidade total do solo estudado. Esses fatores

são interdependentes visto que não houve maiores

variações na microporosidade do solo.

Para a densidade do solo observou-se que a

aplicação do biochar no solo proporcionou uma

melhora significativa da camada superior (0-0,05

m) em relação à testemunha (solo exposto) na

macroporosidade, destacando-se o tratamento

composto pela combinação de Gonçalo-alves,

braquiária e lodo de esgoto, que possibilitou o

menor valor de densidade do solo, após a aplicação

do biochar (**Tabela 3**). Apesar da superioridade

dos demais tratamentos sobre o solo ex posto, estes apresentam valores muito próximos

aos tidos como limitantes para o desenvolvimento

radicular, em torno de 1,55 kg dm-3 (Reichert *et*

*al*., 2003).

Os resultados corroboram com os descritos por

Bonini & Alves (2012), em experimento conduzido

em condição semelhante, com a implantação

de tratamentos constituídos pela combinação de

adubos verdes e condicionadores de solo. Também

estão de acordo com os resultados obtidos

por Alves *et al*. (2007) no ano de 2004, 356 dias

após a implantação do experimento, avaliando as

culturas de cobertura nesta mesma área. Nessa

ocasião as condições físicas do solo apresentadas

foram próximas às obtidas no presente trabalho,

evidenciando uma recuperação lenta das propriedades

físicas em solo com alto nível de degradação.

Efeitos positivos da aplicação do biochar foram

notados, principalmente nas profundidades

até 0,2 m, onde houve uma diminuição

considerável da densidade em relação à testemunha

com solo exposto. Esses resultados

concordam com os apresentados por Arruda

*et al*. (2013), que trabalhando em área semelhante

obtiveram incremento nos teores de

matéria orgânica no solo com a adição de lodo

de esgoto, juntamente com o revolvimento para

a sua incorporação. Sendo, portanto, esses os

principais fatores que favoreceram a melhoria

das propriedades físicas das camadas até 0,2

m de profundidade.

A camada presente na profundidade 0,2-0,4

m é menos afetada pelas culturas de cobertura,

lodo de esgoto e adição de biochar, não diferindo

da testemunha sem tratamento de recuperação.

Ressalta-se que a recuperação de solos que sofreram

com processos de degradação até condições

próximas às originais, é pouco provável e tal

evento levaria dezenas ou até mesmo centenas de

anos (Alves *et al*., 2012) e que o processo de reestruturação

do solo deve ser realizada no tempo

e por meio do manejo de solo e planta (Alves &

Souza, 2008).

As alterações nas propriedades físicas dos solos,

as quais podem ser tomadas como avaliações

de qualidade do solo são dependentes de

fatores espaciais e temporais. Reichert *et al*.

(2003) resalta a importância do tempo de influência

do tratamento aplicado, para a quantificação

de mudanças exercidas pelo mesmo sobre o

solo e a frequência destes mesmos tratamentos

no espaço deve considerar as variações espaciais

provocadas pelo solo. Portanto, seis meses após a incorporação do biochar, a mobilização do solo

foi o fator que se destacou quanto ao aumento da

porosidade do solo na camada superficial. Pois

o tratamento apenas com Gonçalo-alves apresentou

valores próximos de macroporosidade e

densidade aos tratamentos com adubos verdes e,

consequente, maior adição de MO.

Para a taxa constante de infiltração e infiltração

acumulada, houve diferença significativa entre

os tratamentos nas épocas e dos tratamentos

entre as épocas da amostragem (**Tabela 4**).

A proteção exercida pela cobertura vegetal contra

o efeito do impacto direto das gotas de chuva

sobre o solo e o efeito cimentante e estabilizador

gerado pelas substâncias orgânicas excretadas

pelas raízes das plantas, principalmente as sintetizadas

pelos microrganismos do solo no processo

de decomposição, também são prováveis responsáveis

pela maior infiltração nos tratamentos com

coberturas vegetais (Alves *et al*., 2007).

Para a taxa constante de infiltração, verificouse

diferença significativa entre os tratamentos na

segunda época de amostragem, na qual se destacaram

os tratamentos GA e GA+FP, não diferindo

do tratamento com solo exposto, sem aplicação

do biochar. Entre as épocas houve diferença dos

tratamentos GA+FP, GA+CR e GA+BR+LE, sendo

que houve diminuição da infiltração acumulada

na segunda época em relação à primeira época

de avaliação (**Tabela 4**).

Verificou-se que, para a infiltração acumulada

na segunda época, destacaram-se os tratamentos

onde houve a aplicação do biochar, com exceção

do tratamento GA+BR+LE. Os resultados estão

provavelmente ligados ao revolvimento do solo

para aplicação do produto, corroborando com o

exposto por Vieira & Klein (2007) e Antoneli &

Thomaz (2009), que constataram a superioridade

da capacidade de infiltração de água no solo

em áreas com plantio convencional, devido à mobilização

do solo.

Entre as épocas de amostragem, houve diferença

para os tratamentos GA+CR e GA+BR+-

LE, onde se verificou a diminuição da infiltração

acumulada na segunda época. Neste contexto os

resultados podem ser explicados por um provável

selamento superficial devido ao impacto das go tas de chuva, favorecendo a dispersão física dos

agregados ou também a formação do selo superficial

causado pelo caráter químico da aplicação do

biochar. Ao aplicarem superficialmente resíduos

alcalinos da indústria de celulose, Albuquerque

*et al*. (2002) observaram o efeito da alcalinidade

do produto sobre a dispersão da argila, formando

assim o selo superficial. Assim como os resíduos

utilizados por estes autores, o biochar apresenta

pH alcalino de 8,7.

Em relação à máxima resistência à penetração

nas camadas do solo estudadas, de uma maneira

geral, pode-se observar na época 1, a superioridade

da mata nativa de cerrado em relação aos

demais tratamentos, com exceção dos tratamentos

GA+BR+LE na camada de 0,0-0,05 m, GA, GA+FP, GA+CR e GA+BR+LE na camada de

0,05-0,10 e 0,10-0,20 m (**Tabela 5**).

Esse resultado corrobora com os encontrados

em estudo anterior, que relaciona a menor resistência

do solo à penetração aos maiores teores

de matéria orgânica e, em consequência, a maior

estabilidade de agregados, em consequência à

presença das plantas de cobertura (Alves *et al*.,

2012).

Na segunda época de amostragem, houve superioridade

da mata nativa de cerrado em relação

aos demais tratamentos, com exceção dos tratamentos

GA+BR+LE nas camadas de 0,0-0,05

e 0,05-0,10 m e dos tratamentos GA, GA+FP e

GA+CR na camada de 0,10-0,20 m. O resultado

é esperado devido à condição natural da mata nativa,

que não passou por processos de distúrbio.

Entre as épocas de coleta houve aumento significativo

da resistência na época 2 para os tratamentos

GA+FP na camada 0,0-0,05 m, GA na

camada de 0,05-0,10-0,20 m e para os tratamentos

GA e GA+BR+LE na camada de 0,10-

0,20 m, sem diferenças significativas para a profundidade

0,20-0,40 m (**Tabela 5**).

O aumento da resistência à penetração na

segunda época também pode estar relacionada

à menor umidade do solo em relação à primeira

época de coleta. Esta diminuição resulta no aumento

da resistência a penetração, como observado

por Genro Júnior *et al*. (2004), analisando

a variabilidade temporal da resistência à penetração

em sistemas de semeadura direta com rotação

de culturas em um Latossolo argiloso.

Os valores obtidos no presente trabalho indicam

que todos os tratamentos apresentam condições

inapropriadas para o desenvolvimento vegetal,

com exceção da mata nativa de cerrado. Pois

valores de resistência a penetração na faixa de

2,0 a 4,0 MPa têm sido propostos como limitantes

ao crescimento radicular de culturas anuais e

espécies arbóreas (Arshad *et al*., 1996; Suzuki *et*

*al*., 2007).

Os resultados obtidos evidenciam a importância

da continuidade destes estudos por longos períodos

de tempo a fim de que sejam observadas modificações

ocasionadas pela presença do biochar sobre

os atributos físicos do solo. Deve-se levar em consideração

o tempo de permanência e atuação desse

material no solo, uma vez que o carbono pirogênico

possui a maior média de vida dentre as frações que

contém carbono (Pessenda *et al*., 2004), podendo

ser observadas frações com idades estimadas em 500 a 7000 anos, através do método de rádiocarbono

(Neves *et al*. 2003), o que

**CONCLUSÕES**

Em curto prazo, a aplicação do biochar aumenta

a macroporosidade, pouco interferindo nas demais

propriedades físicas do Latossolo Vermelho

degradado, em ambiente de cerrado. A utilização

de adubos verdes e lodo de esgoto propicia melhoras

significativas nas propriedades físicas do Latossolo

Vermelho degradado, após 9 anos da instalação dos

tratamentos de recuperação da área.

**AGRADECIMENTO**

À Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do

Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato

Grosso do Sul (FUNDECT) pela concessão da bolsa

de mestrado ao primeiro autor.

**Tabela 2**. Valores médios de macroporosidade, microporosidade e porosidade total no perfil de solo sob diferentes manejos de

recuperação e sob mata nativa de Cerrado em duas épocas, pré-aplicação do biochar e seis meses após a aplicação.

**Table 2.** Mean values of macroporosity, microporosity and total porosity in the soil profile under different management of recovery

and under native forest of Cerrado in two seasons, pre-application of biochar and six months after application.

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de

probabilidade. GA+FP= Gonçalo-alves+Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA+C= Gonçalo-alves+Crotalária (*Crotalária juncea*);

GA+BR +LE = Gonçalo-alves+Braquiária+ lodo de esgoto.

Means followed by equal letters, lowercase in the column and upper case in the row, do not differ from each other by the Tukey test

at 5% probability. GA+FP= *Astronium fraxinifolium* S.+*Canavalia ensiformis*; GA+C= *Astronium fraxinifolium* S.+*Crotalária juncea*; GA+BR

+LE = *Astronium fraxinifolium* S.+*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens* S.+ sewage sludge.

**Tabela 3**. Valores médios de densidade (kg dm-3) no perfil de solo sob diferentes manejos de recuperação e sob mata nativa de

Cerrado em duas épocas, pré-aplicação do biochar e seis meses após a aplicação.

**Table 3**. Mean values of density (kg dm-3) in the soil profile under different management of recovery and under native forest of

Cerrado in two seasons, pre-application of biochar and six months after application.

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de

probabilidade. GA+FP= Gonçalo-alves+Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA+C= Gonçalo-alves+Crotalária (*Crotalária juncea*);

GA+BR +LE = Gonçalo-alves+Braquiária+ lodo de esgoto.

Means followed by equal letters, lowercase in the column and upper case in the row, do not differ from each other by the Tukey test

at 5% probability. GA+FP= *Astronium fraxinifolium* S.+*Canavalia ensiformis*; GA+C= *Astronium fraxinifolium* S.+*Crotalária juncea*; GA+BR

+LE = *Astronium fraxinifolium* S.+*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens* S.+ sewage sludge.

**Tabela 4**. Valores médios taxa constante de infiltração e

infiltração acumulada no perfil de solo sob diferentes manejos

de recuperação e sob mata nativa de Cerrado em duas épocas,

pré-aplicação do biochar e seis meses após a aplicação.

**Table 4.** Mean values of constant rate of infiltration and

accumulated infiltration in the soil profile under different

management of recovery and under native forest of Cerrado in

two seasons, pre-application of biochar and six months after

application.

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e

maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey

a 5 % de probabilidade. GA+FP= Gonçalo-alves+Feijão-deporco

(*Canavalia ensiformis*); GA+C= Gonçalo-alves+Crotalária

(*Crotalária juncea*); GA+BR +LE = Gonçalo-alves+Braquiária+

lodo de esgoto.

Means followed by equal letters, lowercase in the column and

upper case in the row, do not differ from each other by the

Tukey test at 5% probability. GA+FP= *Astronium fraxinifolium*

S.+*Canavalia ensiformis*; GA+C= *Astronium fraxinifolium*

S.+*Crotalária juncea*; GA+BR +LE = *Astronium fraxinifolium*

S.+*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens* S.+ sewage sludge.

**Tabela 5.** Valores médios de resistência à penetração no perfil de solo sob diferentes manejos de recuperação e sob mata nativa de

Cerrado em duas épocas, pré-aplicação do biochar e seis meses após a aplicação.

**Table 5.** Average values of resistance to penetration in the soil profile under different management of recovery and under native

forest of Cerrado in two seasons, pre-application of biochar and six months after application.

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de

probabilidade. GA+FP= Gonçalo-alves+Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); GA+C= Gonçalo-alves+Crotalária (*Crotalária juncea*);

GA+BR +LE = Gonçalo-alves+Braquiária+ lodo de esgoto.

Means followed by equal letters, lowercase in the column and upper case in the row, do not differ from each other by the Tukey test

at 5% probability. GA+FP= *Astronium fraxinifolium* S.+*Canavalia ensiformis*; GA+C= *Astronium fraxinifolium* S.+*Crotalária juncea*; GA+BR

+LE = *Astronium fraxinifolium* S.+*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens* S.+ sewage sludge.

**REFERÊNCIAS**

Agência Nacional de Energia Elétrica. 2013. Relatório ANEEL

2012. ANEEL.

Albuquerque, JA; J Argenton; EC Fontana; FS Costa & TD

Rech. 2002. Propriedades físicas e químicas de solos

incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose.

Revista Brasileira de Ciências do Solo 26(4):1065-

1073, 2002.

Antoneli, V & EL Thomaz. 2009. Comparação de infiltração

de água no solo mensurada em período seco e úmido,

em diferentes usos da terra na bacia do arroio Boa Vista,

Guamiranga, Paraná. Ambiência 5(2):301-318.

Alves, MC; V Nascimento & ZM Souza. 2012. Recuperação

em área de empréstimo usada para construção de usina

hidroelétrica. R evista Brasileira de Engenharia Agrícola e

Ambiental 16(8):887-893.

Alves, MC & ZM Souza. 2008. Recuperação de área degradada

por construção de hidroelétrica com adubação

verde e corretivo. Revista Brasileira de Ciência do Solo

32:2505-2516.

Alves, MC; LGAS Suzuki & LEAS Suzuki. 2007. Densidade

do solo e infiltração de água como indicadores da

qualidade física de um Latossolo Vermelho Distrófico

em recuperação. Revista Brasileira de Ciência do Solo

31:617-625.

Arruda, OGD; MC Alves; CDSB Bonini & DDC Marchini.

2013. Atributos físicos de um Latossolo degradado

tratado com biossólido há cinco anos. C ientífica

41(1):73-81.

Arshad, MA; B Lowery & B Grossman. 1996. Physical tests

for monitoring soil quality. En: JW DORAN & AJ JONES,

eds. Methods for assessing soil quality. Pp.123-141. Soil

Science Society of America.

Bai, ZG; DL Dent; L Olsson & ME Schaepman. 2008. Proxy

global assessment of land degradation. S oil Use and Management

24(3)223-234.

Bonini, CDSB & MC Alves. 2012. Qualidade física de um Latossolo

Vermelho em recuperação há dezessete anos. R evista

Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental

16(4)329-336.

Centrais Elétrica do Estado de São Paulo. 1998. Diretoria de

Meio Ambiente Recomposição vegetal. CESP.

Demattê, JLI. 1980. Levantamento detalhado dos solos do

Campus Experimental de Ilha Solteira. 131p. (Mimeografado).

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1997. Manual

de métodos de análise de solo. 2. ed. EMBRAPA/CNPSO.

Ferreira, DF. 2014. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures

in multiple comparisons. Ciência e Agrotecnologia

38(2):109-112.

Genro Junior, SA; DJ Reinert & JM Reichert. 2004. Variabilidade

temporal da resistência à penetração de

um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação

de culturas. Revista Brasileira de Ciência do Solo

28(3):477-484.

Hardie, M; B Clothier; S Bound; G Oliver & D Close. 2014.

Does biochar influence soil physical properties and soil

water availability?. Plant and Soil, 376(1-2), 347.

Kitamura, AE; MC Alves; LGAS Suzuki & AP Gonzalez. 2008.

Recuperação de um solo degradado com aplicação de

adubos verdes e lodo de esgoto. Revista Brasileira de

Ciência do Solo 32:405-416.

Lemann, J; MC Riling; J Thies; CA Masiello; WC Hockaday &

D Crowley. 2011. Biochar effects on soil biota–a review.

Soil Biology and Biochemistry, 43(9): 1812-1836.

Madari, BE; TJF Cunha; EH Novotny; DMBP Milori; L Martin

Neto; VM Benites; MR Coelho & GA Santos. 2009.

Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (terra

preta de índio). Suas características e papel na sustentabilidade

da fertilidade do solo. En: As terras pretas

de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste

conhecimento na criação de novas áreas. Pp. 172-188.

Embrapa Amazônia Ocidental.

Neves, EG; JB Petersen; RN Bartone & CAD Silva. 2003

Historical and socio-cultural origins of Amazonian Dark

Earths. En: J Lehmann; DC Kern; B Glaser & WI Woods.

(eds) Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management.

Pp. 29-50. Kluwer Academic Publishers.

Nóbrega, ÍPC. 2011. Efeitos do biochar nas propriedades

físicas e químicas do solo: sequestro de carbono no solo.

Tesis Doctoral, Universidade Técnica de Lisboa.

Pessenda, LCR; SEM Gouveia; R Aravena; R Boulet & EPE

Valencia. 2004. Holocene fire and vegetation changes

in southeastern Brazil as deduced from fossil charcoal

and soil carbon isotopes. Quaternary International

114(1):35-43.

Reichert, JM; DJ Reinert & JA Braida. 2003. Qualidade dos

solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. Ciência

Ambiental 48(1):27-29.

Santos, HG; PKT Jacomine; LHC Anjos; VA Oliveira; JF Lumbreras;

MR Coelho; JA Almeida; TJF Cunha & JB Oliveira.

2013. Sistema brasileiro de classificação de solos**.** 3.

ed. Embrapa Solos.

Suzuki, LEAS; JM Reichert; DJ Reinert & CLR Lima. 2007.

Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento

de culturas em Latossolo e Argissolo. Pesquisa Agropecuária

Brasileira 42(8):1159-1167.

Tormena, CA; J Fidalski & W Rossi Junior. 2008. Resistência

tênsil e friabilidade de um Latossolo sob diferentes

sistemas de uso. Revista Brasileira de Ciência do Solo

32(1)33-42.

Vendruscolo, EP; AJF Leal; MC Alves; EJ Souza & SN Souto

Filho. 2016. Chemical attributes of land degraded due

to the adoption of biochar, cover crops and residual of

sewage sludge application. Revista de Ciências Agrárias/

Amazonian Journal of Agricultural and Environmental

Sciences, 59(3), 235-242.

Vieira, ML & VA Klein. 2007. Propriedades físico-hídricas

de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas

de manejo. Revista Brasileira de Ciências do Solo

31:1271-1280.

Zhang, R. 1997. Determination of soil sorptivity and hydraulic

conductivity from the disc infiltrometer. Soil Science

Society America Journal 61(4):1024-1030.