

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS PARA INCREMENTOS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM SUBSOLO DEGRADADO EM ÁREA DE CERRADO****Anderson Secco dos Santos\***

\*Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul Unidade Dourados – Anderson.ambiente@gmail.com

**RESUMO**

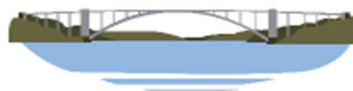
Para que um subsolo exposto tenha restabelecido, mesmo que parcialmente, a dinâmica de seus atributos na camada superficial e, com isto, apresente condições para receber e dar suporte à vegetação de cerrado, uma alternativa seria a introdução de resíduos que acelerem esta etapa. Neste trabalho utilizaram-se macrófitas aquáticas, como resíduo orgânico (RO), removidas das águas de represas de usinas hidrelétricas e cinza de bagaço de cana-de-açúcar, como resíduo agroindustrial (RA), produzida em usinas sucroalcooleiras, com o objetivo de restabelecer as condições físicas da camada superficial, para torná-la dinâmica e apta a receber e dar suporte a vegetação de cerrado. Realizou-se a caracterização inicial da área e novas avaliações foram feitas após 12 e 24 meses da implantação do experimento. A área foco é contínua, com extensão de 10,66 km<sup>2</sup>, se localiza à margem direita do Rio Paraná, está foi degradada na década de 60 durante a construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira-SP. A área foi preparada com grade pesada (0,15 m até 0,25 m de profundidade) e os RO e RA foram distribuídos a lanço e incorporados no solo com grade média. Após três meses, mudas de dez espécies arbóreas de cerrado foram introduzidas aleatoriamente, totalizando 1080 mudas. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 4, sendo os tratamentos composto de 3 doses de RO (0, 16 e 32 t ha<sup>-1</sup>) e 4 doses de RA (0, 15, 30 e 45 t ha<sup>-1</sup>), totalizando 12 tratamentos, estabelecidos em parcelas de 20 x 30 m (600 m<sup>2</sup>). Transcorridos 12 e 24 meses do plantio, foram avaliados resistência mecânica do solo a penetração, densidade, macro e microporosidade, porosidade total e matéria orgânica do solo. Após 24 meses de condução, os tratamentos adotados estão contribuindo para a recuperação dos atributos físicos do subsolo exposto. A matéria orgânica proveniente do RO foi mineralizada e a densidade do solo foi a propriedade física mais sensível para detectar alterações na recuperação do subsolo estudado. A mecanização proposta reduziu a resistência à penetração a superfície.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduo agroindustrial, Revegetação Cinza, Macrófita.**ABSTRACT**

To have restored exposed subsoil, even partially, the dynamics of its attributes in the surface layer and, therefore, presents condition to receive and support the cerrado vegetation, an alternative would be to introduce waste to accelerate this stage. In this work were used aquatic macrophytes, as organic waste (RO), collected from hydroelectric dam lakes, and ash from sugarcane bagasse, produced in sugarcane mills, as agro-industrial residue (RA), with the purpose of improve the surficial layer physical conditions, to make it dynamic and able to receive and support the cerrado vegetation. The area initial characterization was conducted and new assessments were made at 12 and 24 months after the experiment implementation. The focus area is continuous, with an extension of 10.66 km<sup>2</sup>, it is located on the right bank of Paraná River, which was degraded in the 60's during the hydroelectric power plant construction in Ilha Solteira-SP. The area was prepared with heavy harrow (0.15 m to 0.25 m depth), RO and RA were spread and soil incorporated with medium harrow. After three months, seedlings of ten cerrado tree species were randomly introduced, totaling 1080 seedlings. The experimental design was completely randomized, in a factorial 3 x 4, which treatments were compounded of 3 dose of RO (0, 16 and 32 t ha<sup>-1</sup>) and 4 doses of RA (0, 15, 30 and 45 t ha<sup>-1</sup>), 12 treatments total, set out in parcels of 20 x 30 m (600 m<sup>2</sup>). Elapsed 12 and 24 months, after planting, soil penetration resistance, density, macro and microporosity, total porosity and soil organic matter were evaluated. After 24 months of carrying out, the treatments adopted are contributing to recovery the physical attributes of exposed subsoil. Organic matter from RO was mineralized and soil density was the most sensitive physical property to detect amendments in the subsoil evaluated. The mechanization proposed reduced the soil penetration resistance, at surface.

**KEY WORDS:** Agro-industrial residue, Revegetation, Ash, Macrophyte**INTRODUÇÃO**

A saúde do solo pode ser definida como "a capacidade do solo para funcionar como um sistema vivo", no entorno da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, as "áreas de empréstimo" existentes podem ser consideradas áreas degradadas, uma vez que delas foram retirados os horizontes superficiais do solo e a vegetação. Entende-se por área de empréstimo o local



de onde foram retirados materiais para complementar o volume de solo necessário à execução da terraplanagem e da fundação das barragens (LOPES ; QUEIROZ, 1994).

Empreendimentos que envolvem a remoção do solo e deixam exposto um substrato litólico provocam profundas modificações nos ecossistemas, produzem áreas degradadas que, segundo Arato et al. (2003), nem sempre é possível devolver à sua condição original devido, entre outras causas, ao estado de degradação a que foi submetido. A perda da integridade das unidades estruturais do solo, diminuição do volume do solo, aumento da densidade, porosidade e da condutividade hidráulica saturada são exemplos de consequências da degradação do solo (NEWELL-PRICE et al., 2013).

Áreas de empréstimos, geradas pela construção de hidrelétricas, portanto áreas degradadas causam vários impactos ao meio, resultando num conjunto de problemas ambientais, como a extinção de espécies da fauna e flora, contribui com as mudanças climáticas, erosão do solo e assoreamento dos cursos d'água. Áreas como estas, com baixa disponibilidade de nutrientes, baixo teor de matéria orgânica e alterações nas propriedades físicas dificultam o estabelecimento e crescimento da cobertura vegetal.

A produção de energia pelas hidrelétricas e açúcar e álcool a partir da cana-de-açúcar, podem ocasionar problemas ambientais em decorrência da geração e disposição final de resíduos. A cinza do bagaço de cana-de-açúcar, queimado em caldeiras tem como destino corrente o solo, onde vem sendo aplicada sem considerar a observância de critérios técnicos, como um simples material de descarte, podendo causar impactos negativos ao meio ambiente.

Nos lagos das hidrelétricas a proliferação de macrófitas aquáticas, acarreta uma série de problemas e devendo ser retiradas. Macrófitas aquáticas é a denominação mais adequada para caracterizar vegetais que habitam desde brejos até ambientes verdadeiramente aquáticos, sendo uma denominação genérica, independente de aspectos taxonômicos. Suas elevadas taxas de produção primária e o rápido crescimento populacional de várias espécies favorecem a colonização de vastas áreas, podendo afetar os usos múltiplos de ecossistemas aquáticos. Dentre os problemas mais comumente observados podem ser citados: redução da biodiversidade prejuízos aos esportes náuticos (natação, esqui e pesca), entupimento de tubulações e canais de irrigação e, mais recentemente, prejuízos à produção de energia em usinas hidrelétricas.

A deposição dos resíduos em solos agrícolas é uma alternativa muito utilizada em vários países, e pode ser definida como colocação metódica ou forma de emprego, desde que realizada de maneira ordenada e com o objetivo de utilizar o resíduo e não apenas eliminá-lo. Nesse contexto têm surgido diversos trabalhos de investigação que visam soluções alternativas para utilização desses resíduos, permitindo seu aproveitamento e redução do impacto ambiental (ANDRADE et al., 2003).

## OBJETIVOS

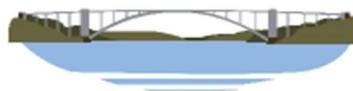
Melhorar os atributos do subsolo, possibilitando o restabelecimento das condições física da camada superficial para torná-la dinâmica e apta a receber e dar suporte a vegetação de cerrado.

## METODOLOGIA

O experimento foi implantado em condições de campo, em área degradada na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, da Faculdade de Engenharia – UNESP/Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria-MS, sob clima do tipo AW (tropical com estação seca no inverno), segundo classificação de Köppen. Na década de 60, durante a construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira-SP, foram removidos a vegetação natural de cerrado e os horizontes superficiais do solo, deixando exposto um subsolo de textura argilosa (areia 460 g kg<sup>-1</sup>, silte 170 g kg<sup>-1</sup> e argila 370 g kg<sup>-1</sup>) (EMBRAPA, 2011). Esse até hoje permanece sem cobertura vegetal, devido à baixa capacidade de suporte, decorrente da intensidade do impacto.

A área foco é contínua, com extensão de 10,66 km<sup>2</sup>, localizada à margem direita do Rio Paraná, a jusante da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, entre as Latitudes 20° 22' 45" e 20° 24' 12" Sul e as Longitudes 51° 22' 33" e 51° 23' 22" Oeste, com altitude variando de 291 a 350 m. Dentro desta área foi estabelecido o presente estudo, que abrangeu uma área piloto de aproximadamente 3,4 ha<sup>-1</sup> (Latitude 20° 23' 02" Sul e Longitude 51° 24' 24" Oeste).

A caracterização inicial, antes da implantação dos tratamentos, constou de avaliação dos teores de matéria orgânica (RAIJ et al., 2001), densidade, porosidade total, macro e microporosidade nas profundidades de 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m (Tabela 1), além de resistência mecânica a penetração nas profundidades de 0 - 0,05, 0,05 - 0,10, 0,10 - 0,20, 0,20 - 0,30



e 0,30 - 0,40 m, e a umidade atual de 0 - 0,15, 0,15 - 0,30 e 0,30 - 0,45 m, com 20 repetições ao longo de toda a área (EMBRAPA, 2011).

A área experimental foi preparada com grade pesada, de 14 discos com diâmetro de 32 polegadas, acoplada na barra de tração do trator, para rompimento do encrostamento superficial. Em seguida, esta foi escarificada utilizando-se um escarificador de 7 hastas, espaçadas de 0,40 m, com largura de ponteira de 0,05 m, a uma profundidade média 0,37 m e dotado de rolo destorroador.

Os resíduos adicionados foram distribuídos individualmente e a lanço, com o distribuidor de corretivos e fertilizantes (capacidade 2 toneladas), de discos duplos ajustados. As macrófitas aquáticas, resíduo orgânico (RO), foram aplicadas ao solo em 3 doses (0, 16 e 32 t ha<sup>-1</sup>) e a cinza do bagaço da cana de açúcar, resíduo agroindustrial (RA), em 4 doses (0, 15, 30 e 45 t ha<sup>-1</sup>), estabelecidos em parcelas de 20 x 30 m (600 m<sup>2</sup>), separadas por faixas de 5 m de largura.

As macrófitas, foram coletadas no lago da Usina Hidrelétrica de Jupiá, devido a sua multiplicação excessiva. Estas foram espalhadas e permaneceram expostas ao sol durante 120 dias, para perder o excesso de água e facilitar o processo de incorporação ao subsolo exposto. A cinza foi coletada em caldeiras da Usina Alcoolvale: açúcar e álcool S.A., em Aparecida do Taboado-MS e permaneceu exposta ao sol, por 120 dias, sendo em seguida foi distribuída na área, de acordo com os tratamentos.

Os resíduos distribuídos à superfície foram incorporados, utilizando-se uma grade média de 16 discos, de 24 polegadas de diâmetro, acoplados na barra de tração do trator. Após a incorporação seguiram-se 03 meses de pousio, encerrados com a introdução de 1080 mudas de espécies arbóreas do cerrado. Transcorridos 12 e 24 meses da introdução das mudas, no subsolo exposto, foram coletadas e analisadas amostras do subsolo para matéria orgânica, nas profundidades 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m (RAIJ et al., 2001); densidade, porosidade total, macro e microporosidade nas profundidades de 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m (EMBRAPA, 2011). As avaliações foram conduzidas em todas as parcelas experimentais, com 03 repetições.

Determinou-se a resistência à penetração, com penetrógrafo modelo Penetrographer PatSC<sup>-60</sup> (EMBRAPA, 2011), em todas as parcelas experimentais, com 03 repetições, e avaliaram-se as profundidades de 0 - 0,05, 0,05 - 0,10, 0,10 - 0,20, 0,20 - 0,30 e 0,30 - 0,40 m. A umidade gravimétrica foi determinada concomitantemente à resistência mecânica a penetração, pelo método da pesagem (EMBRAPA, 2011), com amostras coletadas, com 03 repetições em todas parcelas, cujas umidades médias, após 12 e 24 meses, foram, respectivamente, 17% e 15% (massa) de 0 - 0,45 m de profundidade.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 4, sendo os tratamentos composto de 3 doses de RO (0, 16 e 32 t ha<sup>-1</sup>) e 4 doses de RA (0, 15, 30 e 45 t ha<sup>-1</sup>), totalizando 12 tratamentos e 3 repetições.

Para verificar o efeito dos tratamentos sobre os atributos avaliados, os dados coletados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, ou por meio de regressão. Para realização da análise estatística, foi utilizado o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

## RESULTADOS

Na caracterização inicial da área o subsolo exposto apresentou maior resistência a penetração na camada mais superficial (3,8 MPa) e uma redução em profundidade, chegando a 0,7 MPa, com 0,40 m (Tabela 1; Figura 1). Segundo a Embrapa (2005), valores de resistência mecânica a penetração acima de 3 MPa têm sido considerados restritivos ao crescimento radicular de espécies arbóreas, contribuindo para o entendimento da quase total ausência de vegetação na área em estudo, uma vez que as sementes do entorno, que chegam na área, não encontram condições satisfatórias para o desenvolvimento inicial do sistema radicular.

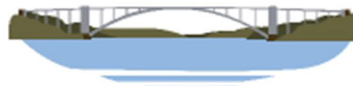


Tabela 1. Caracterização inicial da área, valores das médias, desvio padrão (SD), coeficientes de variação (CV), mínimo e máximo para matéria orgânica, densidade, macroporosidade, microporosidade, umidade e resistência do solo a penetração.

Fonte: Autor do trabalho

Propriedades do Solo	Médias	SD	CV(%)	Mínimo	Máximo
<b>Matéria Orgânica (g dm<sup>-3</sup>)</b>					
0,00 - 0,20 m	9,60	0,90	9	8,00	10,00
<b>Densidade (g cm<sup>-3</sup>)</b>					
0,00 - 0,10 m	1,45	0,12	8	1,30	1,64
0,10 - 0,20 m	1,47	0,20	14	1,21	1,92
<b>Macroporosidade (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>					
0,00 - 0,10 m	0,11	3,23	29	0,06	0,16
0,10 - 0,20 m	0,11	5,27	46	0,06	0,22
<b>Microporosidade (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>					
0,00 - 0,10 m	0,36	4,47	12	0,30	0,43
0,10 - 0,20 m	0,37	6,62	18	0,22	0,44
<b>Porosidade Total (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>					
0,00 - 0,10 m	0,47	3,77	8	0,42	0,54
0,10 - 0,20 m	0,48	3,68	8	0,44	0,54
<b>Umidade (%)</b>					
0,00 - 0,15 m	12,45	1,88	15	8,71	15,61
0,15 - 0,30 m	16,25	3,85	24	8,70	20,00
0,30 - 0,45 m	18,64	0,38	2	18,08	18,97
<b>Resistência à Penetração (MPa)</b>					
0,00 - 0,05 m	3,80	28,24	74	0	7,60
0,05 - 0,10 m	2,01	24,22	120	0	7,60
0,10 - 0,20 m	1,72	23,27	135	0	7,60
0,20 - 0,30 m	1,00	14,00	141	0	4,60
0,30 - 0,40 m	0,71	11,30	160	0	4,25

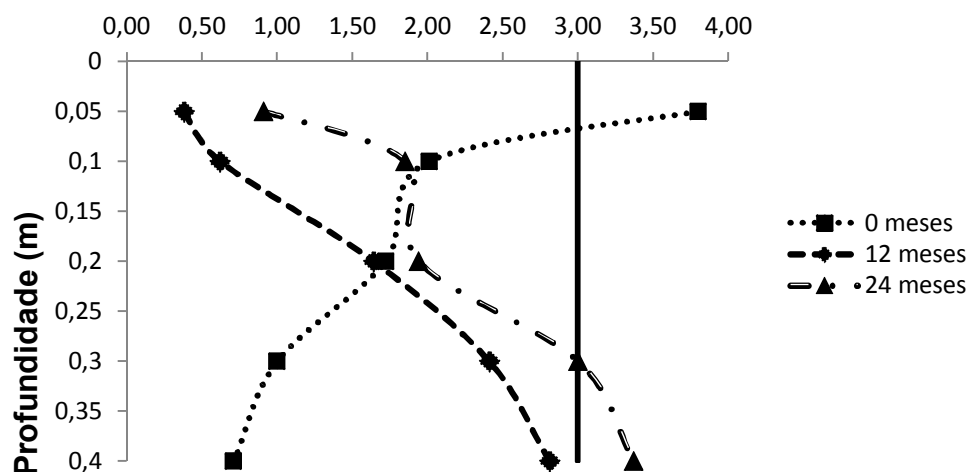
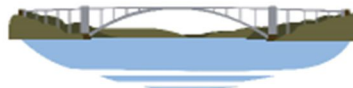


Figura 1. Resistência a penetração (MPa) no tempo 0 e decorridos 12 e 24 meses da implantação do experimento.  
Fonte: Autor do trabalho

Transcorridos 12 meses da implantação do experimento (Figura 1), constata-se redução na resistência mecânica à penetração devido à mecanização na camada mais superficial que ocorreu no preparo da área, seguida de incrementos em maiores profundidades. Aos 24 meses, porém, em profundidade maior que 0,30 m, os valores de resistência mecânica a penetração superaram 3,0 MPa.

A redução da resistência a penetração, na camada mais superficial, após 12 meses de implantação do experimento (Figura 1), foi acompanhada do aumento da macroporosidade e da porosidade total (tabela 2), com conseqüente redução da densidade do solo em relação a caracterização inicial do experimento. Da mesma forma, os incrementos observados podem estar relacionados à mecanização do solo para incorporação dos resíduos e irrigação das mudas. Tratamentos com adição de resíduos (mineral e orgânico) mostram comportamento semelhante na recuperação de atributos físico-hídricos



e no teor da matéria orgânica, sendo mais promissor, segundo Campos et al. (2011), quando aplicados na camada superficial do solo.

**Tabela 2. Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV) para macroporosidade (MACR), microporosidade (MICR), porosidade total (PT), densidade do solo (DS) e matéria orgânica (MO) do solo, nos tratamentos de resíduos (orgânico e inorgânico), com 12 meses.**

Fonte: Autor do trabalho

Tratamentos	MACR	MICR	PT	DS	MO
	-----( $m^3 m^{-3}$ )-----				
<b>Profundidade (PR)</b>					
0,00 - 0,10 m	0,15	0,37	0,52	1,26	8,91
0,10 - 0,20 m	0,14	0,37	0,50	1,31	8,91
<b>Resíduo orgânico (RO)</b>					
0 t ha <sup>-1</sup>	0,14	0,35	0,50	1,31	8,58 b
16 t ha <sup>-1</sup>	0,14	0,37	0,51	1,30	9,58 a
32 t ha <sup>-1</sup>	0,14	0,38	0,52	1,26	8,92 b
<b>Resíduo agroindustrial (RA)</b>					
0 t ha <sup>-1</sup>	0,13	0,38	0,51	1,31	9,00
15 t ha <sup>-1</sup>	0,12	0,38	0,49	1,32	9,22
30 t ha <sup>-1</sup>	0,15	0,37	0,52	1,24	9,11
45 t ha <sup>-1</sup>	0,17	0,34	0,51	1,28	8,77
<b>Valores de F</b>					
PR	2,422 <sup>ns</sup>	0,238 <sup>ns</sup>	2,367 <sup>ns</sup>	3,628 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>
RO	0,040 <sup>ns</sup>	3,182 <sup>ns</sup>	2,373 <sup>ns</sup>	1,923 <sup>ns</sup>	6,643 <sup>**</sup>
RA	7,415 <sup>**</sup>	5,772 <sup>**</sup>	1,521 <sup>ns</sup>	2,235 <sup>ns</sup>	0,262 <sup>ns</sup>
RO x RA	0,777 <sup>ns</sup>	0,931 <sup>ns</sup>	0,221 <sup>ns</sup>	1,008 <sup>ns</sup>	1,119 <sup>ns</sup>
PR x RO	0,850 <sup>ns</sup>	0,282 <sup>ns</sup>	0,512 <sup>ns</sup>	0,641 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>
PR x RA	0,560 <sup>ns</sup>	1,151 <sup>ns</sup>	1,718 <sup>ns</sup>	0,717 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>
PR x RO x RA	2,000 <sup>ns</sup>	0,871 <sup>ns</sup>	0,595 <sup>ns</sup>	1,251 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>
<b>CV (%)</b>	25	9	8	8	10

Médias seguidas de mesma letra, na vertical para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\* e \*: significativos a 1 e 5%, respectivamente; <sup>ns</sup>: não significativo.

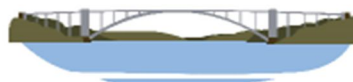
Decorridos 24 meses, a resistência à penetração mantém o mesmo comportamento, isto é, baixa resistência a penetração à superfície, porém com incrementos acima de 3,0 MPa a partir de 0,30 m de profundidade. Este comportamento se acentuou com o tempo, possivelmente devido à proximidade do substrato rochoso presente em subsuperfície.

Ocorreu redução da macroporosidade na profundidade de 0 - 0,10 m, o que é corroborado pela maior densidade do solo ( $1,37 kg m^{-3}$ ), que apresenta valores superiores (Tabela 3), aos observados com 12 meses de implantação do experimento (Tabela 2). Áreas em avançado estágio de degradação, com densidade na faixa de 1,6 a 1,8  $kg dm^{-3}$  e macroporosidade abaixo de  $0,10 m^3 m^{-3}$ , podem, segundo Secco et al. (2005), impedir o desenvolvimento do sistema radicular das culturas. Avaliando um solo em área de cerrado natural, Souza & Alves (2003) encontraram densidade do solo de  $1,17 kg dm^{-3}$  (0,00 - 0,10 m),  $1,30 kg dm^{-3}$  (0,10 - 0,20 m) e macroporosidade de  $0,26 m^3 m^{-3}$  (0,00 - 0,10 m) e  $0,20 m^3 m^{-3}$  (0,10 - 0,20 m), em situação semelhante.

**Tabela 3. Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV) para macroporosidade (MACR), microporosidade (MICR), porosidade total (PT), densidade do solo (DS) e matéria orgânica (MO) nos tratamentos de resíduos (orgânico e inorgânico), no período de 24 meses.**

Fonte: Autor do trabalho

Tratamentos	MACR	MICR	PT	DS	MO
	-----( $m^3 m^{-3}$ )-----				
<b>Profundidade (PR)</b>					
0,00 - 0,10 (m)	0,13 b	0,38	0,50 b	1,37 b	8,66
0,10 - 0,20 (m)	0,15 a	0,37	0,52 a	1,33 a	8,66
<b>Resíduo orgânico (RO)</b>					
0 t ha <sup>-1</sup>	0,13	0,35	0,51	1,36	8,25
16 t ha <sup>-1</sup>	0,14	0,37	0,51	1,35	8,92



32 t ha <sup>-1</sup>	0,14	0,38	0,52	1,34	8,83
<b>Resíduo agroindustrial (RA)</b>					
0 t ha <sup>-1</sup>	0,12	0,37	0,49	1,43	8,44
15 t ha <sup>-1</sup>	0,16	0,37	0,52	1,35	9,22
30 t ha <sup>-1</sup>	0,13	0,39	0,51	1,30	8,88
45 t ha <sup>-1</sup>	0,14	0,36	0,51	1,31	8,11
<b>Valores de F</b>					
PR	15,263**	2,435 <sup>ns</sup>	5,840*	7,179**	0,001 <sup>ns</sup>
RO	0,320 <sup>ns</sup>	1,491 <sup>ns</sup>	1,268 <sup>ns</sup>	1,381 <sup>ns</sup>	1,839 <sup>ns</sup>
RA	10,400**	4,083**	5,250**	17,144**	2,495 <sup>ns</sup>
RO x RA	1,776 <sup>ns</sup>	0,448 <sup>ns</sup>	1,446 <sup>ns</sup>	2,392**	0,720 <sup>ns</sup>
PR x RO	1,179 <sup>ns</sup>	0,775 <sup>ns</sup>	0,140 <sup>ns</sup>	0,407 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>
PR x RA	0,513 <sup>ns</sup>	0,293 <sup>ns</sup>	0,086 <sup>ns</sup>	0,390 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>
PR x RO x RA	0,206 <sup>ns</sup>	0,332 <sup>ns</sup>	0,329 <sup>ns</sup>	0,932 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>
CV (%)	29	9	8	8	11

Médias seguidas de mesma letra, na vertical para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\* e \*: significativos a 1 e 5%, respectivamente; <sup>ns</sup>: não significativo.

Importante observar que entre as avaliações feitas aos 12 e 24 observaram-se ocorre incrementos na densidade do solo, enquanto a resistência a penetração se mantém satisfatória na profundidade de preparo do solo, com incrementos acima de 3 Mpa a partir de 0,20 m de profundidade, mesmo sem novas ações de mecanização, sugerindo a ocorrência de uma reorganização das partículas, o que pode estar contribuindo para aumentar a resistência à penetração (Stone et al., 2002).

As avaliações dos tratamentos aplicados em relação à resistência a penetração, após 12 e 24 meses (Figuras 2 e 3), mostram que 12 meses após a aplicação dos resíduos, apenas os tratamentos que receberam 0 t ha<sup>-1</sup> RO associados com 30 ou 45 t ha<sup>-1</sup> RA; 16 t ha<sup>-1</sup> RO + 45 t ha<sup>-1</sup> RA e os que receberam 32 t ha<sup>-1</sup> RO associadas com 15, 30 ou 45 t ha<sup>-1</sup> RA excederam o valor crítico de 3 MPa estabelecido pela Embrapa (2005). No entanto, aos 24 meses da aplicação dos resíduos, os tratamentos que excederam o limite máximo de 3 MPa para o crescimento das raízes das espécies arbóreas, foram os que receberam 0 t ha<sup>-1</sup> dos dois resíduos; 0 t ha<sup>-1</sup> RO+45 t ha<sup>-1</sup> RA; 16 t ha<sup>-1</sup> RO +0 ou 15 ou 45 t ha<sup>-1</sup> RA e 32 t ha<sup>-1</sup> RO+0 t ha<sup>-1</sup> RA.

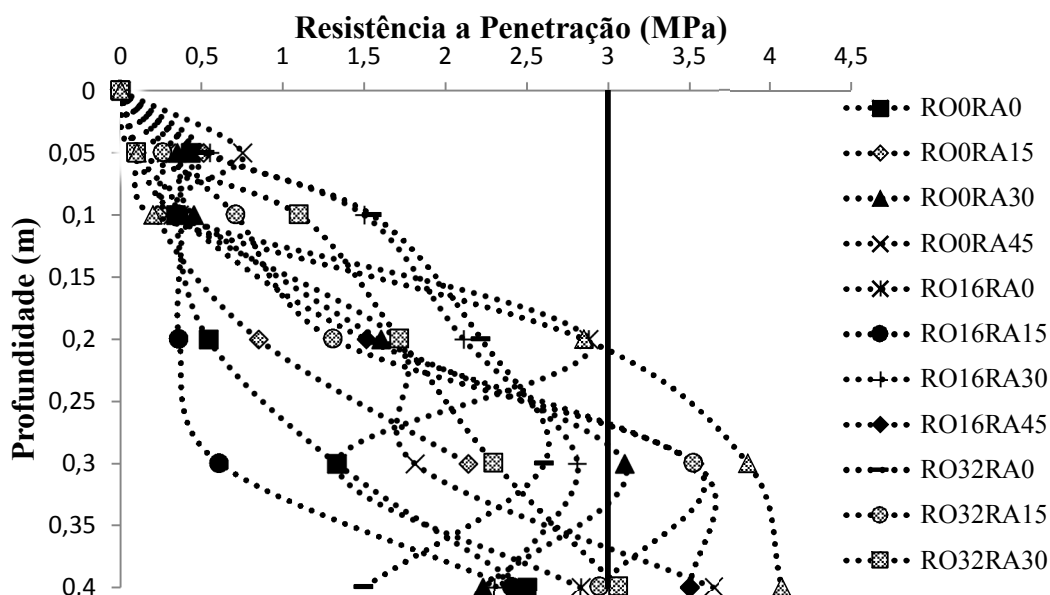
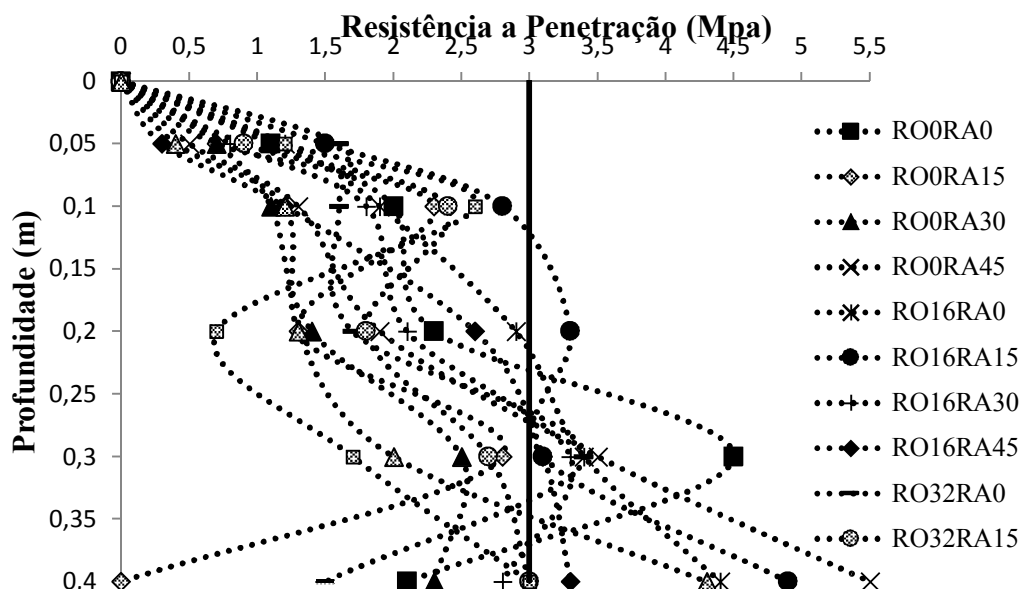


Figura 2. Resistência a penetração (MPa) decorrido 12 meses do experimento relacionado por cada tratamento sendo RO = Resíduo Orgânico RA= Resíduo Agroindustrial, os números estão relacionados com as doses aplicadas, 0, 15, 16, 30, 32 e 45 t ha<sup>-1</sup>. 3MPa limite crítico para desenvolvimento das espécies arbóreas.

Fonte: Autor do trabalho



Das variáveis analisadas observa-se que a incorporação de RO influenciou positivamente apenas os conteúdos de matéria orgânica (Tabela 2) com 12 meses de implantação do experimento, com comportamento quadrático ( $Y^{**} = 8,5833 + 0,1146x - 0,0032x^2$ ,  $R^2 = 0,99$ ) e ponto de máximo de  $17,60 \text{ t ha}^{-1}$ , sugerindo que o subsolo consegue incorporar satisfatoriamente até  $17,60 \text{ t ha}^{-1}$  de RO. No entanto, aos 24 meses não se observam efeitos significativos de RO sobre a matéria orgânica do solo, que se mantém relativamente constante se comparado aos 12 meses.



**Figura 3. Resistência a penetração (MPa) decorridos 24 meses do experimento relacionado por cada tratamento sendo RO = Resíduo Orgânico RA= Resíduo Agroindustrial, os números estão relacionados com as doses aplicadas, 0, 15, 16, 30, 32 e 45 t ha<sup>-1</sup>. 3MPa limite crítico para desenvolvimento das espécies arbóreas.**

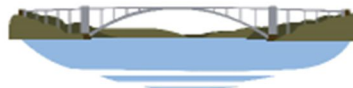
Fonte: Autor do trabalho

Transcorridos 24 meses, para macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo e matéria orgânica (Tabela 3) constata-se que não houve influência significativa da aplicação do RO. Taboada-Castro et al. (2009) 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 processos e mecanismos que envolvem a agregação, como Hati et al. (2007), que descrevem uma forte relação entre a degradação física do solo e o declínio no teor de matéria orgânica.

A aplicação do RA, avaliada após 12 meses (Tabela 2) influenciou positivamente a macroporosidade, com comportamento linear e crescente ( $Y^{**} = 11,8026 + 0,1029x$ ,  $R^2 = 0,78$ ) e negativamente a microporosidade, com comportamento linear e decrescente ( $Y^{**} = 38,6693 - 0,0858x$ ,  $R^2 = 0,80$ ). Decorridos 24 meses da aplicação de RA, verificou-se a influência positiva deste sobre a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo (Tabela 3), com comportamento linear e crescente para porosidade total de ( $Y^{**} = 50,2519 + 1,3879x$ ,  $R^2 = 0,99$ ) e linear decrescente para densidade do solo ( $Y^{**} = 1,4139 - 0,0027x$ ,  $R^2 = 0,8025$ ), enquanto para macro e microporosidade o comportamento foi quadrático ( $Y^{**} = 12,5213 + 0,1331x - 0,0024x^2$ ,  $R^2 = 0,2116$ ), com ponto de máximo para macroporosidade de  $27,73 \text{ t ha}^{-1}$  de RA e ( $Y^{**} = 37,0701 + 0,0656x - 0,0016x^2$ ,  $R^2 = 0,2094$ ) com ponto de máximo para microporosidade de  $20,5 \text{ t ha}^{-1}$ .

Em relação à profundidade, a macroporosidade, porosidade total e densidade do solo responderam significativamente à incorporação do RA ao subsolo (Tabela 3), com comportamento linear e crescente para macroporosidade ( $Y^{**} = 12,5924 + 2,1024x$ ,  $R^2 = 0,99$ ) e porosidade total ( $Y^{**} = 50,2519 + 1,3878x$ ,  $R^2 = 0,99$ ) enquanto para densidade do solo o comportamento foi linear e decrescente ( $Y^{**} = 1,3713 - 0,0384x$ ,  $R^2 = 0,99$ ).

A densidade do solo apresenta interação significativa da aplicação dos resíduos (Tabela 3), cujo desdobramento mostra que tanto na ausência de RO como na presença de  $16 \text{ t ha}^{-1}$  a densidade do solo responde à incorporação de RA com comportamento quadrático, tendo na ausência de RO ( $Y^{**} = 1,4739 - 0,010146x + 0,000152x^2$ ,  $R^2 = 0,91$ ) ponto de mínimo de  $33,4 \text{ t ha}^{-1}$  RA e para  $16 \text{ t ha}^{-1}$  de RO ( $Y^{**} = 1,4662 - 0,01066x + 0,000162x^2$ ,  $R^2 = 0,99$ ) ponto de mínimo de  $32,90 \text{ t ha}^{-1}$  RA. Estas doses ( $33,4 \text{ t ha}^{-1}$  e  $32,90 \text{ t ha}^{-1}$ ) indicam a ocorrência da menor densidade do solo. Na presença de  $32 \text{ t ha}^{-1}$  de RO a aplicação de RA não influencia a densidade do solo.



Com a incorporação de RA nas doses 15, 30 e 45 t ha<sup>-1</sup> a incorporação de RO não promoveu alteração na densidade do solo, porém na ausência de RA a densidade do solo é superior e influenciada pelas doses de RO, em comportamento linear e decrescente ( $Y^* = 1,4794 - 0,002743x$ ,  $R^2 = 0,7405$ ).

## CONCLUSÕES

Após 24 meses de condução do experimento, a matéria orgânica proveniente do RO foi mineralizada, a densidade do solo foi a propriedade física mais sensível para detectar alterações na recuperação do solo estudado.

A mecanização proposta reduziu a resistência a penetração a superfície e os tratamentos adotados estão contribuindo para a recuperação dos atributos físicos do subsolo exposto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE, G.C.; SILVA, H.D.; BELLOTE, A.F.J. & FERREIRA, C.A. **Efeitos da adubação fosfatada e da aplicação de resíduo de celulose no crescimento de Eucalyptus dunnii**. B. Pesq. Fl., 47: 43-54, 2003.
2. ARATO, H.D.; MARTINS, S.V. & FERRARI, S.H.S. **Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG**. Rev. Árvore, 27:715-721, 2003.
3. CAMPOS, F.S.; ALVES, M.C.; SOUZA, Z.M. & PEREIRA, G. T. Atributos físico-hídricos de um Latossolo após a aplicação de lodo de esgoto em área degradada do Cerrado. Ci. Rural, 41:796-803, 2011.
4. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Compactação dos solos: conseqüências para o desenvolvimento vegetal**. Planaltina, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2005. 26p. (Documento, 136).
5. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2011. p.13-87.
6. FERREIRA, D.F. **Sisvar: a computer statistic analysis system**. Ciênc. Agrotec., 35:1039-1042, 2011.
7. HATI, K.M.; SWARUP, A.; DWIVEDI, A.K.; MISRA, A.K. & BANDYOPADHYAY, K.K. **Changes in soil physical properties and organic carbon status at the topsoil horizon of a vertisol of central India after 28 years of continuous cropping, fertilization and manuring**. Agric. Ecosyst. Environ., 119:127-134, 2007.
8. LOPES, J.A.V. & QUEIROZ, S.M.P. **Rodovias e meio ambiente no Brasil: uma resenha crítica**. In: RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS; SIMPÓSIO SULAMERICANO. Curitiba, 1994. Anais. Curitiba, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1994. p.75-90.
9. NEWELL-PRICE, J.P.; WHITTINGHAM, M.J.; CHAMBERS, B.J. & PEEL, S. **Visual soil evaluation in relation to measured soil physical properties in a survey of grassland soil compaction in England and Wales**. Soil Till. Res., 127:65-73, 2013.
10. RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico, 2001. 285p.
11. SECCO, D.; ROS, C.O.D.; SECCO, J.K. & FIORIN, J.E. **Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo**. R. Bras. Ci. Solo, 29:407-414, 2005.
12. 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 Sci., 25:27-34, 2003.
13. STONE, L.F.; GUIMARÃES, C.M. & MOREIRA, J.A.A. **Compactação do solo na cultura do feijoeiro**. I: Efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. R. Bras. Eng. Agric. Amb., 6:207-212, 2002.
14. TABOADA-CASTRO, M.M.; ALVES, M.C.; NASCIMENTO, V. & TABOADA-CASTRO, M.T. **Revegetation on a removed topsoil: Effect on aggregate stability**. Commun. Soil Sci. Plant, 40:771-786, 2009.
- 15.
- 16.