Relação entre as propriedades físicas e hídricas e os tipos de uso da terra em Neossolos Regolíticos da bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR

Relation between the physical and hydric properties and the types of use of land in Regolithic Neosols of the basin of Pirapó-PR

Francieli Sant'ana Marcatto
Doutoranda em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá, PR, Brasil
fran_marcatto@hotmail.com

Hélio Silveira
Professor Doutor do Departamento de Geografia e do
Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual
de Maringá, PR, Brasil
hesilveira70@hotmail.com

Resumo
Os Neossolos Regolíticos da bacia hidrográfica do Pirapó-PR são utilizados, principalmente, para o cultivo de pastagem e culturas de grãos e apresentam baixo potencial de uso e elevada suscetibilidade à erosão, devido a sua pequena profundidade, grande pedregosidade e a ocorrência em áreas de relevo dissecado. Diante disso, esse trabalho objetiva estudar os Neossolos Regolíticos do compartimento de paisagem 4a da bacia hidrográfica do Pirapó e os efeitos das diferentes formas de uso e ocupação no comportamento físico e hídrico do solo. Foram analisados os horizontes superficiais desses solos, cultivados com pastagem, culturas de grãos e floresta nativa. Foram realizadas análises físicas de densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, granulometria, resistência à penetração, umidade e estabilidade de agregados; análises hídricas de velocidade de infiltração e condutividade hidráulica e a análise química de carbono orgânico. Os resultados indicaram que o Neossolo Regolítico cultivado com pastagem e cultura de grãos mostrou-se sensível às alterações impostas pelo tipo de uso, com modificações em suas propriedades físico-hídricas.

Palavras-chave: Neossolo Regolítico; propriedades físico-hídricas; uso da terra; bacia hidrográfica do Pirapó-PR.

Abstract
The Regolithic Neosols of the basin of Pirapó-PR are used mainly for pasture and grain crops and they have low potential for use and they have high susceptibility to erosion, so due to its small depth, they have great stoniness and the occurrence in areas of relief dissected. Therefore, this work aims to study the Regolithic Neosols of landscape compartment 4a of the basin of Pirapó and the effects of different forms of use and occupation in the physical and hydric behavior of the soil. The surface horizons of these soils were analyzed, grown with pasture, grain crops and native forest. Were realized physical analysis of density of soil, total porosity, macroporosity, microporosity, granulometry, resistance of penetration, moisture and aggregate stability; hydric analysis of infiltration rate and hydraulic conductivity and the chemical analysis of organic carbon. The results indicated that the Regolithic Neosols cultivated with pasture and crop grain was sensitive to changes imposed by the type of use, with changes in their physical and hydric properties.

Keywords: Regolithic Neosols; physical and hydric properties; land use; basin of Pirapó-PR.

1. INTRODUÇÃO

A degradação dos solos e a formação de feições erosivas são graves problemas ambientais que atingem todas as regiões do Brasil. O rápido avanço da ocupação agrícola, com práticas de manejo inadequado e a retirada da floresta nativa, sem preocupar-se com as características dos solos, as formas de relevo e o regime climático de cada ambiente resultaram em processos erosivos de diferentes intensidades.

Apesar dos inúmeros projetos de combate a erosão e conservação dos solos criados no Paraná desde a década de 1960 e o avanço de métodos de cultivo conservacionistas, a erosão mostra-se ainda como um grave problema ambiental que atinge a região norte e noroeste do Estado. Nesse contexto, insere-se a bacia hidrográfica do Pirapó, que possui solos com elevada fragilidade natural e distintos usos, práticas de manejo e graus de proteção que exercem efeitos sobre a suscetibilidade do solo a erosão.

A grande diversidade de solos, rochas e formas de relevo presentes na bacia torna necessário um estudo pormenorizado, identificando as potencialidades e vulnerabilidades de cada solo face aos processos de uso e ocupação. Os Neossolos Regolíticos tratam-se de solos rasos, que podem apresentar contato lítico quando tem mais de 50 cm de profundidade e horizonte A sobrejacente a horizonte C, admitindo um horizonte Bi com menos de 10 cm de espessura (EMBRAPA, 2013). Segundo Embrapa (1984), são solos em contínuo processo de rejuvenescimento e associam-se a materiais de origem resistentes ao intemperismo, a topografias acidentadas ou a superfícies geomórficas jovens, onde o tempo de atuação dos processos pedogenéticos não os alterou profundamente. Por tratar-se de solos pouco desenvolvidos, suas características físicas e morfológicas apresentam relação direta com o material de origem, nesse sentido, Olmos (1981) complementa que a natureza do substrato e seu maior ou menor grau de consolidação têm influência quanto à suscetibilidade a erosão dos solos, a facilidade ou dificuldade de penetração das raízes e o uso de implementos agrícolas.

Apesar da alta fertilidade natural desses solos, a associação entre o relevo dissecado e a pequena espessura dos perfis os tornam com reduzida capacidade de armazenamento de água para as plantas e muito suscetíveis à ocorrência de processos erosivos, com a frequente remoção do horizonte A e exposição do horizonte C. A água infiltra com maior velocidade no horizonte superficial alterado e encontra um horizonte subsuperficial pouco alterado, reduzindo a quantidade de água infiltrada, que somado a declividade do terreno facilita a formação de processos erosivos (EMBRAPA, 1984; MERTEN, 1994). Além da suscetibilidade à erosão, a ocorrência de calhaus e matacões no corpo do solo dificulta a exploração agrícola (EMBRAPA, 1984).

Os Neossolos Regolíticos da bacia hidrográfica do Pirapó são utilizados, principalmente, para o cultivo de pastagem e culturas de grãos e apresentam baixo potencial de uso e elevada suscetibilidade à erosão, devido a sua pequena profundidade, grande pedregosidade e a ocorrência em áreas de relevo dissecado. Essas condições combinadas ao tipo de uso e o manejo empregado potencializam a sua degradação, tendo em vista que impõem condições físicas aos solos que vão interferir na ação dos agentes de erosão.

Diante disso, o conhecimento dos atributos físicos e hídricos dos Neossolos Regolíticos, como a composição granulométrica, densidade, porosidade, resistência à penetração, velocidade de infiltração, condutividade hidráulica e a estabilidade de agregados permite avaliar a influência do manejo e do tipo de cobertura vegetal nas propriedades dos solos e as consequências dessas alterações. Este trabalho objetiva estudar os Neossolos Regolíticos do compartimento de paisagem 4a da bacia hidrográfica do rio Pirapó (NÓBREGA et al., 2015) e os efeitos das diferentes formas de uso e ocupação no comportamento físico e hídrico do solo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A bacia hidrográfica do Pirapó localiza-se no norte central do Paraná, entre as latitudes de 22°32’30” e 23°36’18” S e longitudes de 51°22’42” e 52°12’30” W. Segundo a Secretaria do Meio Ambiente e Recurso Hídricos (SEMA, 2013), o rio Pirapó possui um percurso de aproximadamente 168 Km de extensão em uma área territorial de 5.098,10 Km² (Figura 1).

Os Neossolos Regolíticos ocupam, principalmente, a margem esquerda do rio Pirapó em seu alto curso, na unidade de paisagem 4a, conforme a proposta de compartimentação de paisagem proposta por Nóbrega et al. (2015), para as bacias hidrográficas do Pirapó, Paranapanema III e IV (Figura 1).

A escolha dos pontos de amostragem foi determinada em áreas representativas do compartimento de paisagem, com a coleta dos solos em mesma posição topográfica, declividade e tipos de uso e manejo do solo.

O reconhecimento da qualidade física e hídrica dos Neossolos Regolíticos foi realizado na alta vertente, em relevo forte ondulado (20-45%), nos usos predominantes para a área em estudo, destacando-se as culturas de grãos (soja, milho e trigo) e a pastagem. Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas no horizonte superficial por meio de trincheiras, onde foi procedida a descrição morfológica dos solos obedecendo à terminologia e critérios propostos no “Manual de Método de trabalho de campo” (LEMOS; SANTOS, 1996). A floresta nativa foi utilizada como parâmetro de comparação em relação aos outros usos, devido à manutenção das características originais dos solos.

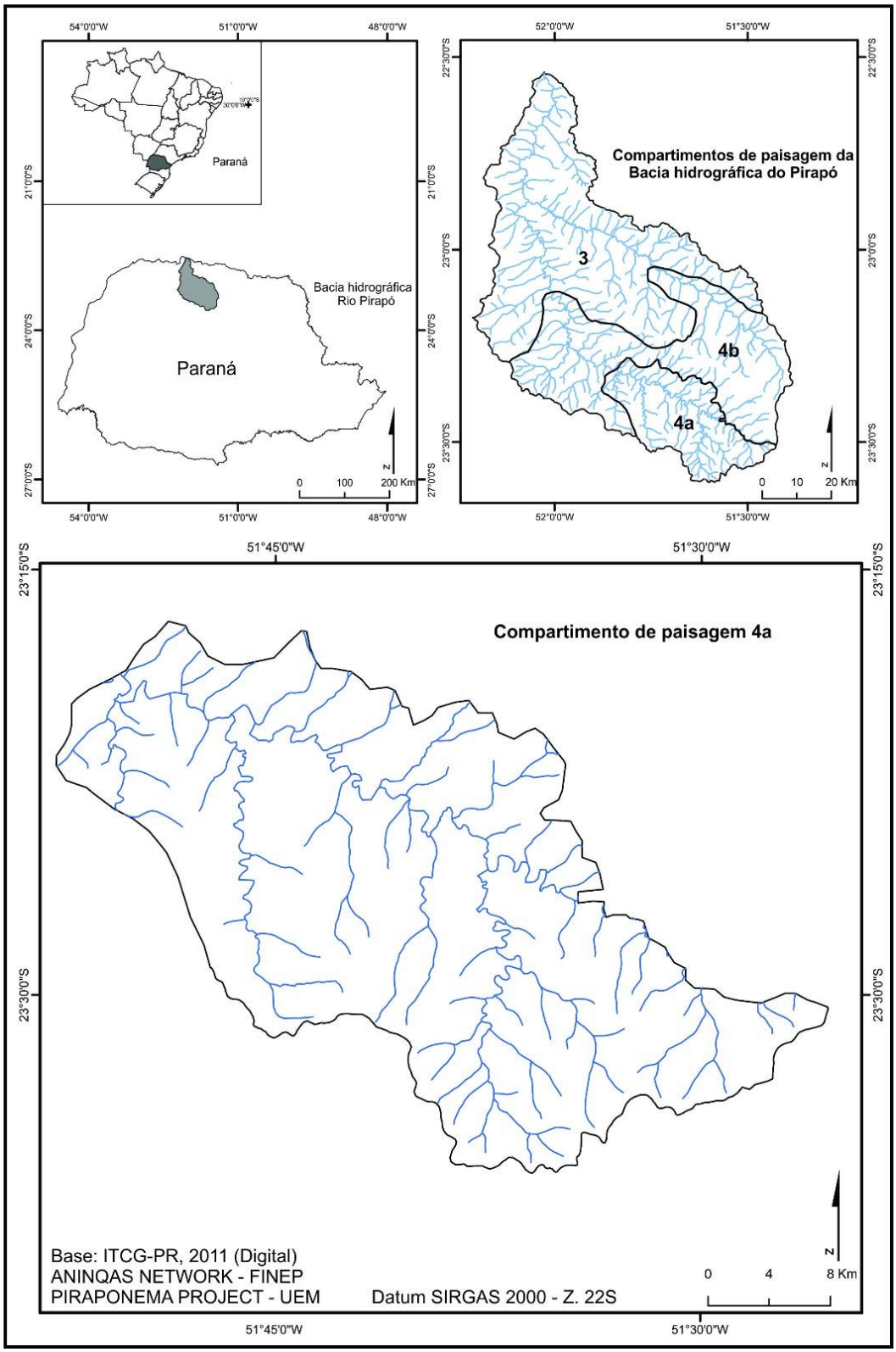

Figura 1 – Mapa de localização do compartimento de paisagem 4a na bacia hidrográfica do Pirapó.

As amostras coletadas em campo foram utilizadas para a caracterização física e hídrica dessa cobertura, com a determinação dos seguintes parâmetros: densidade do solo (Ds) pelo método do anel volumétrico; porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) pelo método da mesa de tensão; estabilidade de agregados (DMPA) pelo método via seca; granulometria pelo método da pipeta; resistência à penetração (Rp) com auxílio do Penetrômetro de bolso Geotester;

umidade gravimétrica (U) pelo método de pesagem; velocidade de infiltração (Vi) e condutividade hidráulica (Kfs) com auxílio do Permeâmetro de Guelph da marca Soilmoisture Equipment Corp e modelo 2800K1, com a aplicação de uma carga hidráulica constante (ELRICK et al., 1989).

As análises físicas de densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, estabilidade de agregados e granulometria foram realizadas segundo a metodologia descrita no Manual de Métodos de Análise do Solo (EMBRAPA, 1997).

Foi realizada ainda, a análise química de carbono orgânico pelo método Walkley e Black (1934). Para avaliar o grau de correlação entre as variáveis utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson (r), classificado conforme a interpretação de Zou et al. (2003) adaptada por Santos et al. (2012a).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O conhecimento das características intrínsecas e extrínsecas dos solos e das formas de uso e ocupação da terra é fundamental à gestão de uma bacia hidrográfica, pois influenciarão na intensidade dos processos erosivos alterando a qualidade do solo e dos recursos hídricos.

O compartimento de paisagem 4a da bacia hidrográfica do Pirapó é ocupado, principalmente, por Neossolos Regolíticos de textura argilosa, formados a partir da alteração de basaltos toleíticos com elevados valores de titânio da Formação Serra Geral (PICCIRILLO et al., 1988; MINEROPAR, 2001). A distribuição dos solos na paisagem associa-se a relevos mais dissecados. Na bacia estão associados a relevos colinosos, com topos estreitos e vertentes curtas, com altitudes superiores a 700 metros em alguns locais e declividades fortes (NÓBREGA et al., 2015) (Figura 2).

Os Neossolos Regolíticos estudados apresentam sequência de horizontes A, Cr, R, com profundidade e desenvolvimento variável. As observações realizadas em campo indicaram que o solo com floresta nativa mostrou-se mais profundo e desenvolvido comparado aos outros usos, considerando que são mantidas as condições naturais, sem a interferência humana e a perda de solo por erosão. O Neossolo com pastagem mostrou-se mais espesso quando comparado com a cultura de grãos, com horizonte subsuperficial mais desenvolvido e o horizonte R, em maior profundidade. Para a cultura de grãos, o horizonte R ocorreu em menor profundidade, com horizonte pedológico subsuperficial menos desenvolvido. Foi observado também, maior frequência na ocorrência de feições erosivas, como erosões laminares e sulcos rasos, o que justifica a menor profundidade do solo nesse uso, onde o horizonte superficial está sendo carreado para as os cursos d’água.

Figura 2 – Neossolo Regolítico em relevo colinosos na bacia hidrográfica do Pirapó.
Fonte: Os autores, 2016.

Na bacia do Pirapó destacam-se como usos predominantes as pastagens e, em menor proporção, as culturas de grãos (soja, milho e trigo) em áreas onde é possível a mecanização. Como sistema de manejo predominante é o plantio direto, que reduz o revolvimento do solo e mantém a cobertura permanente da superfície por resíduos culturais.

Em relação às características morfológicas, os horizontes superficiais não apresentaram diferenças significativas, com estrutura formada por agregados granulares em todos os usos. A diferenciação ocorreu em relação ao grau e tamanho da estrutura, com agregados maiores e mais estruturados na floresta nativa, quando comparado à pastagem e culturas de grãos (Tabela 1).

Tabela 1 - Descrição morfológica da cor, profundidade estrutura e consistência do horizonte superficial dos Neossolos Regolíticos (NR) sob pastagem (p), cultura de grãos (c) e floresta nativa (f).

Solo	**Horizonte**	**Prof. (cm)**	**Cor**	**Estrutura**			**Consistência**		
				Grau	Tamanho	Tipo	Seco	Úmido	Molhado
NR (p)	Ap	0-19	2,5YR 3/2 a 3/4	Moderado	Médio	Granular	Macia	Muito friável	Plástica/ pegajosa
NR (c)	Ap	0-16	2,5YR 3/4	Moderado	Pequeno a médio	Granular	Macia	Muito friável	Plástica/ pegajosa
NR (f)	A	5-30	5YR 3/2	Forte	Médio a grande	Granular	Macia	Muito friável	Plástica/ pegajosa

A análise granulométrica permitiu determinar os teores de areia, silte e argila presentes nos solos, bem como a sua textura. Analisando os dados observou-se que a fração areia apresentou as menores porcentagens variando entre 5,6% a 24,8%. Os valores de silte variaram de 47% a 67,9%, representando as maiores frações para os solos analisados e para a fração argila os valores encontrados ficaram entre 22,7% a 32,3% (Tabela 2).

De acordo com Embrapa (2013), a relação silte/argila é utilizada para avaliar o estágio de intemperismo dos solos, onde valores inferiores a 0,7 para solos de textura média ou inferior a 0,6 nos solos de textura argilosa indicam alto grau de intemperismo. Os valores da relação silte/argila observados para os usos em estudo foram superiores a 1,6, demonstrando que o horizonte superficial desses solos encontra-se em um baixo grau de intemperismo. O maior grau relativo de evolução ocorreu no Neossolo com pastagem (1,6) e o mais baixo grau de evolução na cultura de grãos (2,9). Santos et al. (2012b) e Stümer (2008) observaram valores da relação silte/argila superiores a 1,4 em Neossolos Regolíticos, apontando o pequeno desenvolvimento pedogenético desses solos.

Utilizando a proposta de classificação da textura do solo proposto pela EMBRAPA (2013), o Neossolo cultivado com pastagem apresentou textura franco argilosa. Para os usos com culturas de grãos e floresta nativa, o elevado percentual de silte resultou em texturas franco siltosa e franco argilo siltosa, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2 - Composição granulométrica, relação silte/argila e classificação textural do Neossolo Regolítico sob pastagem, cultura de grãos e floresta nativa.

Solos	Granulometria (%)			Silte/Argila	Textura
	Areia	Silte	Argila		
Pastagem	24,8	47	28,2	1,6	Franco-argilosa
Cultura de grãos	9,4	67,9	22,7	2,9	Franco siltosa
Floresta nativa	5,6	62,1	32,3	1,9	Franco argilo siltosa

A densidade do solo foi superior no uso com pastagem com 1,39g.dm³, já para a cultura de grãos a Ds foi de 1,29 g.dm³. A floresta nativa apresentou o menor valor para os usos em estudo, com 0,69 g.dm³ (Tabela 3). O valor superior de densidade do solo na pastagem, para a área de estudo, ocorreu devido ao não revolvimento do solo e ao intenso pisoteio animal que favorece o adensamento superficial. Observa-se ainda, que no Neossolo cultivado com cultura, mesmo sobre o sistema de plantio direto, há o revolvimento do solo a cada três ou quatro anos, tornando a camada superficial do solo menos adensada.

Tabela 3 – Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), umidade (U) e resistência à penetração (Rp) de Neossolo Regolítico (NR) sob pastagem (p), cultura de grãos (c) e floresta nativa (f).

Solo	Ds	Pt	Ma	Mi	U	Rp
	g.dm³	%				Kg
NR (p)	1,39	48,52	5,17	43,35	11,09	9,78
NR (c)	1,29	52,19	8,25	43,93	13,37	9,53
NR (f)	0,69	74,26	41,4	32,85	25,85	2,91

Os valores de densidade do solo influenciam diretamente na porosidade. A maior compactação do Neossolo cultivado com pastagem apontada pela densidade do solo refletiu no número total de poros e no volume de macroporos, tendo em vista a correlação negativa muito forte existente entre as duas variáveis (r= -1) (Tabela 4).

No uso com pastagem a porosidade total e o volume de macroporos foram os menores para os usos avaliados, com 48,52% de poros sendo 5,17% de poros grandes e 43,25% de microporos. Na cultura de grãos, houve um incremento no volume de poros com 52,19%, onde 8,25% foram de macroporos e 43,93% de microporos (Tabela 3).

O maior valor de porosidade total e macroporosidade ocorreram em floresta nativa, com 74,26% de porosidade total e 41,4% de macroporos, associada à presença de raízes que formam canais no solo, ao maior aporte de matéria orgânica e a ação de organismos vivos (Tabela 3). O volume de macroporos foi 8 e 5 vezes maiores na floresta nativa, comparado a pastagem e cultura de grãos, respectivamente. Resultado semelhante foi obtido por Ortigara et al. (2014), estudando as propriedades físicas e mecânicas de um Latossolo Vermelho Distrófico em áreas de pastejo rotacionado, mata nativa e lavoura com culturas anuais, onde se atribuiu os maiores valores de macroporosidade à mata devido a preservação da estrutura do solo, a abundante fauna edáfica e a grande quantidade de raízes que proporcionam estruturação e sustentação do solo.

Tormena et al. (2002) consideram como restritivos ao crescimento e produtividade das culturas, valores de macroporosidade inferiores a 10-15%. Considerando esses valores, os resultados obtidos nos usos com pastagem e cultura de grãos denotam uma condição restritiva a movimentação de água no perfil do solo, dificultando o desenvolvimento das plantas e facilitando a ocorrência de processos erosivos.

Os resultados de densidade do solo demonstraram uma correlação negativa muito forte (r= -0,998) com a macroporosidade e uma correlação positiva muito forte (r=0,982) com a microporosidade, evidenciando que a compactação do solo demonstrada pela densidade reduz o volume de macroporos e aumenta a quantidade de microporos (Tabela 4). Essas condições limitam a capacidade movimentação de água no perfil, propiciando a formação rápida do escoamento superficial e o desenvolvimento de processos erosivos.

Os resultados de resistência à penetração foram consonantes com os de densidade do solo, porosidade total e macroporosidade, verificando-se maior valor de resistência à penetração em pastagem, com 9,78 kg e cultura de grãos que apresentou Rp de 9,53 kg. Esses valores foram acompanhados de reduzido volume de poros e macroporos. Na floresta nativa, a reduzida densidade do solo e o elevado percentual de poros refletiram na Rp, com um valor muito reduzido comparado aos outros usos (2,91 kg) (Tabela 3).

A variação observada na resistência à penetração foi acompanhada de uma variação no percentual de umidade, o que pode ter contribuído para os resultados obtidos, considerando a correlação negativa muito forte existente entre essas variáveis (r= -0,994) (Tabela 4), onde o aumento da umidade do solo pode reduzir os valores de resistência à penetração. A umidade foi maior no solo com floresta nativa (25,85%), seguido do uso com cultura de grãos (13,37%) e pastagem (11,09%) (Tabela 3). Tormena et al. (2002) e Silveira et al. (2010) também observaram a relação existente entre Rp e umidade, sugerindo que no processo de secamento do solo há uma tendência de aumento da resistência à penetração.

As condições de cobertura do solo promovida pela floresta nativa refletem no conteúdo de água no solo, aumentando a capacidade de infiltração e retenção de água e diminuindo a evaporação. Dessa forma, observou-se que o valor de umidade do solo foi significativamente maior na floresta nativa (25,85%) comparada aos usos com pastagem e cultura de grãos (11,09% e 13,37%, respectivamente) (Tabela 3).

Tabela 4 - Coeficiente de correlação de Pearson para a densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), diâmetro médio ponderados dos agregados (DMPA), argila (A) e carbono orgânico (CO).

Variável	Pt	Ma	Mi	Rp	U	DMPA	A	CO	Vi	Kfs
Ds	-1,000	-0,998	0,982	0,995	-1,000	-0,991	-0,738	-0,909	-0,829	-0,975
Pt		0,998	-0,983	-0,995	1,000	0,991	0,739	0,910	0,830	0,976
Ma			-0,991	-0,999	0,998	0,982	0,775	0,931	0,860	0,986
Mi				0,996	-0,980	-0,949	-0,851	-0,971	-0,919	-0,999
Rp					-0,994	-0,973	-0,802	-0,947	-0,882	-0,993
U						0,992	0,731	0,905	0,823	0,973
DMPA							0,641	0,845	0,748	0,937
Argila								0,952	0,989	0,869
CO									0,987	0,979
Vi										0,932

Intensidade de correlação*
$0 \leq \lvert R \rvert < 0,2$ (muito fraca)
$0,2 \leq \lvert R \rvert < 0,4$ (fraca)
$0,4 \leq \lvert R \rvert < 0,6$ (moderada)
$0,6 \leq \lvert R \rvert < 0,8$ (forte)
$0,8 \leq \lvert R \rvert \leq 1$ (muito forte)

*Classificação da intensidade de correlação proposta por Zou et al. (2003), adaptada de Santos et al. (2012).

Na avaliação da velocidade de infiltração (Vi) e condutividade hidráulica (Kfs) as melhores condições de permeabilidade foram observadas na floresta nativa, com Vi de 2000 mm/h e Kfs de 180 mm/h, acompanhados de elevados valores de macroporosidade e porosidade total, que contribuíram para o aumento da permeabilidade nesse uso (Figura 3). Suzuki et al. (2005) atribuíram valores elevados de infiltração em solos com floresta à maior estruturação do solo, a continuidade dos poros, a ação das raízes, minhocas e insetos presentes nos solos que formam canalículos e favorecem a infiltração.

A permeabilidade no uso com cultura de grãos foi muito inferior comparado a pastagem, na cultura a Vi foi de 560 mm/h e a Kfs de 12,6mm/h, já no uso com pastagem a Vi foi de 1200 mm/h e o Kfs de 29 mm/h (Figura 3). Os valores superiores de Vi e Kfs para a pastagem em relação à cultura de grãos contrariaram os resultados de densidade do solo, macroporosidade e porosidade total, que apontaram piores condições físicas para a pastagem. Entretanto, as observações realizadas em campo indicaram que o Neossolo cultivado com pastagem é mais profundo e desenvolvido em relação ao solo sob cultura de grãos. Dessa forma, o horizonte R no uso com culturas ocorre em menor profundidade promovendo a saturação do horizonte superficial menos desenvolvido com menor volume de água e em menor tempo. Na pastagem, a maior profundidade do solo e a presença de um horizonte subsuperficial mais alterado, com maior volume de material poroso pode ter contribuído para a maior quantidade de água infiltrada nesse perfil. Esses resultados se assemelharam aos de Pedron et al. (2011) em estudo de Neossolos Regolíticos e Litólicos de textura média e arenosa, que observaram que a infiltração de água no solo foi menor em perfis com contanto lítico próximo da superfície e com menor fraturamento.

Stümer (2008), avaliando a taxa de infiltração e infiltração acumulada de Neossolos Regolíticos no Rio Grande do Sul obteve como resultado uma grande variabilidade no comportamento hídrico desses solos, observando ainda, que em alguns perfis estudados não puderam ser estabelecidas relações entre a infiltração e a macroporosidade, porosidade total e composição granulométrica.

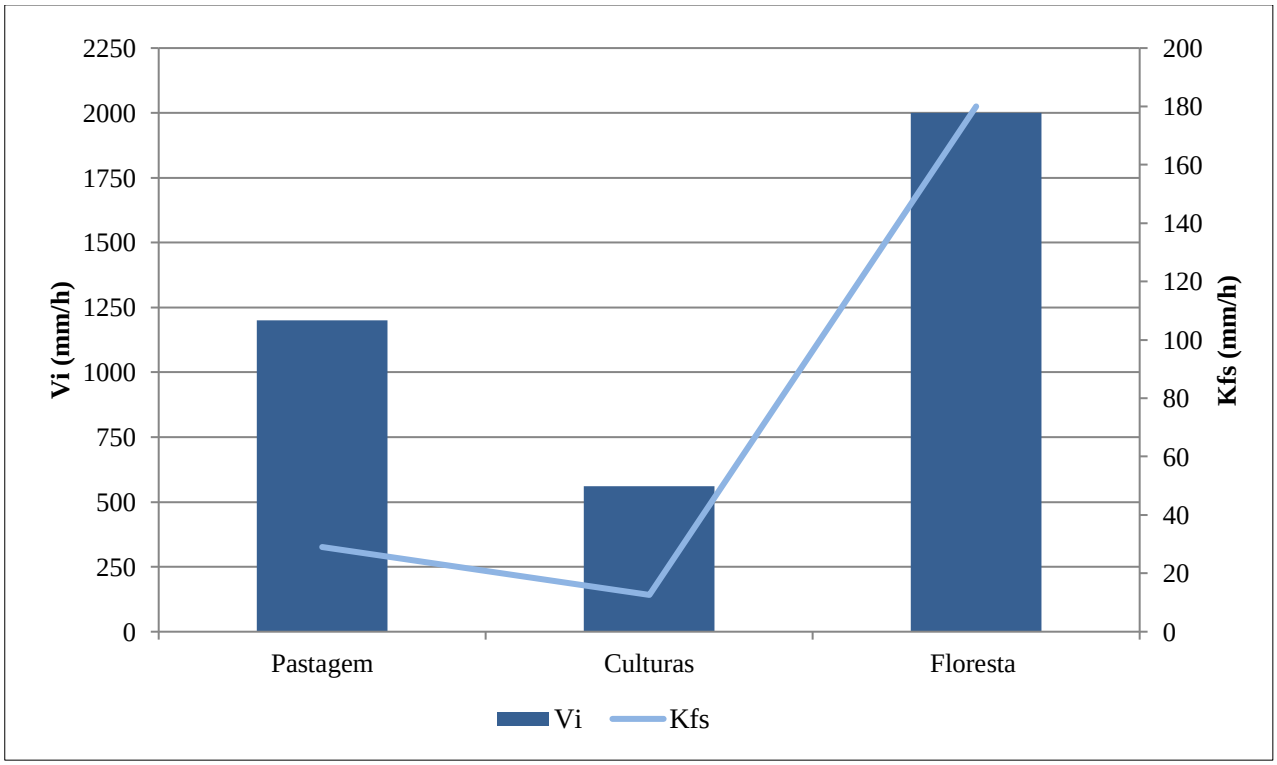

Figura 3 – Velocidade de infiltração (Vi) e condutividade hidráulica (Kfs) do Neossolo Regolítico sob pastagem, cultura de grãos e floresta nativa.

Em relação à distribuição do tamanho dos agregados, observou-se uma maior quantidade de agregados de maior tamanho no uso com floresta nativa diminuindo progressivamente nos usos com culturas de grãos e pastagem. Para as classes de agregados de menor tamanho observou-se o comportamento inverso, com maior número de agregados pequenos na pastagem, seguido da cultura de grãos e floresta nativa (Figura 4).

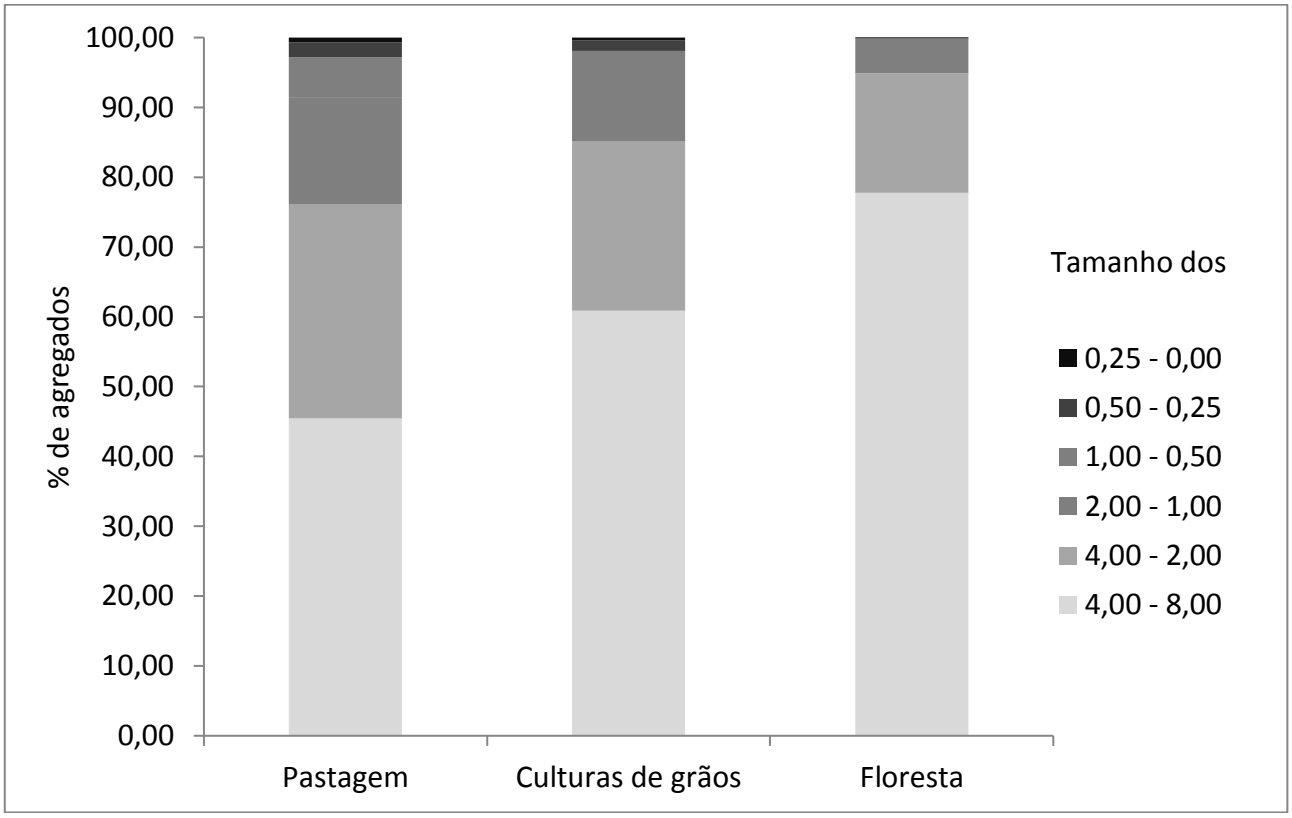

Figura 4 – Distribuição do tamanho dos agregados em Neossolo Regolítico sob pastagem, cultura de grãos e floresta nativa.

O diâmetro médio ponderado dos agregados representa a estabilidade da estrutura do solo diante da ação de desagregação da água, podendo indicar o grau de suscetibilidade do solo à erosão hídrica (BERTOL et al., 2004). A estabilidade estrutural do solo foi expressa pelo diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPA), onde se observou agregados maiores e mais estáveis na floresta nativa (4,3mm), acompanhado do maior percentual de carbono orgânico (38,57 g.dm³) e argila (32,3%) (Tabela 5).

Tisdall e Oades (1979) atribuem um importante papel à raízes das plantas na estabilização de agregados, que agem por meio da liberação de compostos orgânicos e do envolvimento físico e como fonte de energia para os microrganismos da rizosfera que produzem substâncias estabilizantes. Para Albuquerque et al. (2005) nos solos com mata há uma atuação mais intensa de moléculas orgânicas, hifas de fungos, mucilagens e raízes, que são importantes agentes na gênese dos agregados.

Tabela 5 - Diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPA), carbono orgânico (CO) e teor de argila do Neossolo Regolítico (NR) sob pastagem, cultura de grãos e floresta nativa.

Solo	Uso	DMPA (mm)	CO (g.dm³)	Argila (%)
NR	Pastagem	2,1	24,93	28,2
NR	Cultura de grãos	2,7	19,09	22,7
NR	Floresta nativa	4,3	38,57	32,3

No uso com culturas de grãos observou-se para o DMPA valores intermediários entre a floresta e a pastagem, com agregados de 2,7 mm, entretanto, obteve-se os menores valores de argila (22,7%) e carbono orgânico (19,09%) comparado aos outros usos em estudo (Tabela 5).

A pior condição de agregação ocorreu no uso com pastagem, com DMPA de 2,1mm, teor de carbono orgânico de 24,93 g.dm³ e percentual de argila de 28,2% (Tabela 5). Apesar do elevado conteúdo de carbono orgânico observado nesse uso e dos efeitos positivos comprovados em diversos trabalhos sobre os benefícios das raízes das gramíneas na formação de agregados grandes e estáveis (PRIMAVESI, 2002; WENDLING et al., 2005; CRUZ et al., 2003), as práticas incorretas de manejo com número elevado de animais por hectare promoveu a degradação do solo, aumentando a densidade, reduzindo o volume de macroporos e diminuindo o tamanho dos agregados e sua resistência a erosão.

4. CONCLUSÕES

Diante das análises físicas e hídricas realizadas, observou-se que os Neossolos cultivados com pastagem e cultura de grãos mostraram-se sensíveis as alterações impostas pelo tipo de uso. Na pastagem observou-se elevada densidade do solo e resistência à penetração, reduzida porosidade total, macroporosidade e tamanho dos agregados. Para o uso com cultura, os resultados de porosidade total, macroporosidade e resistência à penetração foram semelhantes aos observados em pastagem, entretanto, a velocidade de infiltração e a condutividade hidráulica foram muito inferiores.

Essas condições agravam-se considerando que esses cultivos ocupam áreas de relevo ondulado, facilitando a formação do escoamento hídrico superficial e a ocorrência de processos erosivos, como se observa com frequência na área cultivada com culturas. Diante disso, é necessário buscar o correto manejo do solo para a melhoria de sua qualidade estrutural, reduzindo as perdas de solo por erosão e o volume de sedimentos que chegam aos cursos d’água.

Os resultados de velocidade de infiltração e condutividade hidráulica nos Neossolos avaliados apresentaram maior relação com a profundidade e grau de alteração do solo do que com os atributos físicos, como densidade, porosidade, macroporosidade e resistência à penetração.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J.A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L.P.; KUNTZE, M.A.G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.415-424, 2005.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de cultuas comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p.155-163, 2004.

CRUZ, A.C.R.; PAULETTO, E.A.; FLORES, C.A.; SILVA, J.B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 27, p.1105 – 1112, 2003.

ELRICK, D.E.; REYNOLDS, W.D.; TAN, K.A. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analyses. **Summer**, p.184- 193, 1989.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná**, Rio de Janeiro, 1984.

EMBRAPA. – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1997. 212 p.

EMBRAPA. – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2013, 353 p.

LEMOS, R.C., SANTOS, R.D. **Manual de método de trabalho de campo**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 36p.

MERTEN, G.H. **Manejo de solos de baixa aptidão agrícola no Centro-sul do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1994. 112p.

MINEROPAR. **Atlas Geológico do Estado do Paraná**. 2001. Minerais do Paraná, Curitiba. 2001, 125 p. CD ROM.

NÓBREGA, M.T.; SERRA, E.; SILVEIRA, H.; TERASSI, P.M.B.; BONIFÁCIO, C.M. Landscape structure in the Pirapó, Paranapanema 3 and 4 Hydrographic Unit, in the state of Paraná. **Brazilian Journal of Biology**, v.75, n.4, 2015.

OLMOS I.Larach,J. **Bases para leitura de mapas de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNLCS, 1981, 91p.

ORTIGARA, C. KOPPE, E.; LUZ, F.B.; BERTOLLO, A.M.; KAISER, D.R.; SILVA, V.R. Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p.619-626, 2014.

PEDRON, F.A.; FINK, J.R.; RODRIGUES, M.F.; AZEVEDO, A.C. Condutividade e retenção de água em Neossolos e saprolitos derivados de arenito. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p. 1253-1262, 2011.

PICCIRILLO, E.M., BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P. ; ERNESTO, M.; MELFI, A.J.; PACCA, I.G.; USSAMI, N. Significance of the Paraná flood volcanism in the Disruption of western Gondwanaland. In: PICCIRILLO, E.M; MELFI, A.J. (eds). **The Mesozoic flood volcanism of the Paraná basin: petrogenetic and geophysical aspects**. IAG-USP, p. 285–295, 1988.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002, 543 p.

SANTOS, D.; SOUZA, E.G.; NÓBREGA, L.H.P.; BAZZI, C.L.; GONÇALVES JUNIOR, A.C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho após cultivo de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.8, p.843-848, 2012a.

SANTOS, J.C.B.; SOUZA JUNIOR, V.S.; CORRÊA, M.M.; RIBEIRO, M.R.; ALMEIDA, M.C.; BORGES, L.E.P. Caracterização de Neossolos Regolíticos da região semiárida do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.683-695, 2012b.

SEMA – SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Bacias hidrográficas do Paraná: série histórica**. 2.ed. Curitiba: Governo do Estado do Paraná, 2013, 140 p.

SILVEIRA, D.C.; MELO FILHO, J.F.; SACRAMENTO, J.A.A.S.; SILVEIRA, E.C.P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no Recôncavo da Bahia. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 659-667, 2010.

STÜMER, S.L.K. **Infiltração de água em Neossolos Regolíticos do rebordo do Planalto do Rio Grande do Sul**. 2008. 107f. Dissertação (Mestrado em Processos físicos e morfogenéticos do solo) do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of Ryegrass. **Aust. J. Soil. Res**., v.17, p.429-442, 1979.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S.; GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v.59, n.4, p.795-801, 2002.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid tritation method. **Soil Science**, v. 37, p. 29-38, 1934.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L.N. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.5, p.487-494, 2005.

ZOU, K.H.; TUNCALI, K.; SILVERMAN, S.G. Correlation and simple linear regression. **Radiology**, v. 227, n.3, 2003.

Trabalho enviado em 29/06/2016
Trabalho aceito em 17/01/2017