

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

Assessment of soil water infiltration measured during dry and wet seasons on different land uses in the Boa Vista Basin Stream, Guamiranga, Paraná, Brazil

Valdemir Antoneli¹
Edivaldo Lopes Thomaz²

Resumo

Neste estudo, é comparada a capacidade de infiltração de água no solo mensurada em período seco (agosto) e úmido (dezembro). Os usos da terra onde foi mensurada a infiltração foram mapeados previamente (floresta com araucária, agricultura, erva-mate, reflorestamento, pastagem, capoeira e faxinal). A mensuração da infiltração foi feita através de infiltrômetro com anel duplo, sendo que, em cada uso, foram feitas oito repetições em cada período. Verificou-se que ocorreu diferença significativa na capacidade de infiltração de água no solo mensurada no período seco em comparação com o período úmido. As diferenças ocorreram tanto no volume total infiltrado, quanto na taxa de infiltração final. Dentre os usos mensurados, as áreas de pastagens apresentaram a menor capacidade de infiltração. Conclui-se que o padrão e a dinâmica do uso da terra (mosaico espacial), na bacia do arroio Boa Vista, são responsáveis por diferentes respostas na capacidade de infiltração de água. Por consequência, esperam-se também diferentes comportamentos hidro-erosivos em cada unidade de terra existente na bacia.

Palavras-chave: sazonalidade; infiltrômetro; infiltração de água; uso da terra.

1 M.Sc.; Licenciado em Geografia; Doutorando em Geografia na Universidade Federal do Paraná - UFPR; Professor do Departamento de Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO/Irati; E-mail: vdantoneli@pop.com.br

2 Dr.; Geógrafo; Professor do Departamento de Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO; Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq; E-mail: thomaz@unicentro.br

Abstract

This article offers a comparison between the infiltration capacity of water in the soil measured during dry (August) and wet (December) seasons at the Boa Vista stream basin, in Guamiranga (Paraná State, South Brazil). The land uses there infiltration was measured were previously mapped and featured mixed Ombrophyla Forest, agriculture, *Ilex paraguariensis* plantations, reforestation, pasture, shrubs and “faxinal” (properties without fencing, whose owners share farming facilities). A double ring infiltrometer was used to measure water infiltration in the soil, with eight repetitions during each season. A significant difference was verified in the infiltration capacity when the soils measured during the dry period were compared with those measured during the wet period. Differences appeared both in the total infiltrated volume, and in the final water infiltration rate. Regarding measurements according to the land uses, the pasture areas featured the lowest infiltration capacity. It is plausible to conclude that the pattern and the land use dynamics (spatial mosaic) at the Boa Vista stream basin are accountable for different infiltration capacity responses. As a consequence, different hydro-erosive behaviors also are expected at each land use unit existing in the basin.

Key words: seasonality; infiltrometer; water infiltration; land use.

Introdução

A infiltração de água no solo envolve três processos interdependentes: entrada de água no topo do solo, armazenamento dentro do solo e transmissão de água através do solo (REICHARDT, 1990). Portanto, qualquer alteração em um desses processos altera a resposta hidrológica de uma vertente, sobretudo, a alteração na infiltração no topo do solo (DUNNE e LEOPOLD, 1978; McCAIG, 1985; IMENSON, 1985).

A capacidade de infiltração em um solo é influenciada por vários fatores como: intensidade e duração da chuva, umidade antecedente, textura do solo, cobertura vegetal e uso da terra (manejo) (DUNNE e LEOPOLD, 1978). A ocupação do solo, por meio da retirada da

cobertura vegetal, construções de estradas, cidades, campos de cultivos etc. afeta diretamente a capacidade de infiltração de água do solo, e, por conseguinte, altera a resposta hidrológica superficial. O uso da terra em áreas agrícolas leva ao aumento da compactação do solo devido à mecanização e ao pisoteio do gado.

Camargo e Alleoni (1997) apontam que a compactação do solo causa redução na taxa de infiltração e na condutividade hidráulica no perfil do solo. Dessa forma, a dinâmica do uso da terra é componente fundamental no controle de processos hidro-erosivos. Tal fato é amplamente documentado na literatura (BRYAN, 2000; BRANDÃO et al., 2002; MORGAN, 2005).

Não obstante, Auzet et al. (2002) e Wainwright et al. (2002) sugerem que

há lacunas tanto na escala de vertente, quanto em bacia de drenagem, acerca do entendimento do comportamento dos caminhos e fluxos de água para melhor entender os processos hidro-erosivos. Entre os elementos elencados para esse insucesso estão a necessidade de mais informação sobre a infiltração e o controle exercido pelo uso da terra.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi comparar a infiltração de água em período seco (agosto) e úmido (dezembro), bem como avaliar o comportamento da infiltração de água em diferentes usos da terra na bacia do arroio Boa Vista.

Caracterização da Área de Estudo

A bacia do arroio Boa Vista está localizada no Município de Guamiranga (PR), inserido na região Centro-Sul do Paraná (Figura 1). A bacia possui uma área total de 6,056 km² e seus limites estão entre a latitude de 25° 09' 23" S e longitude

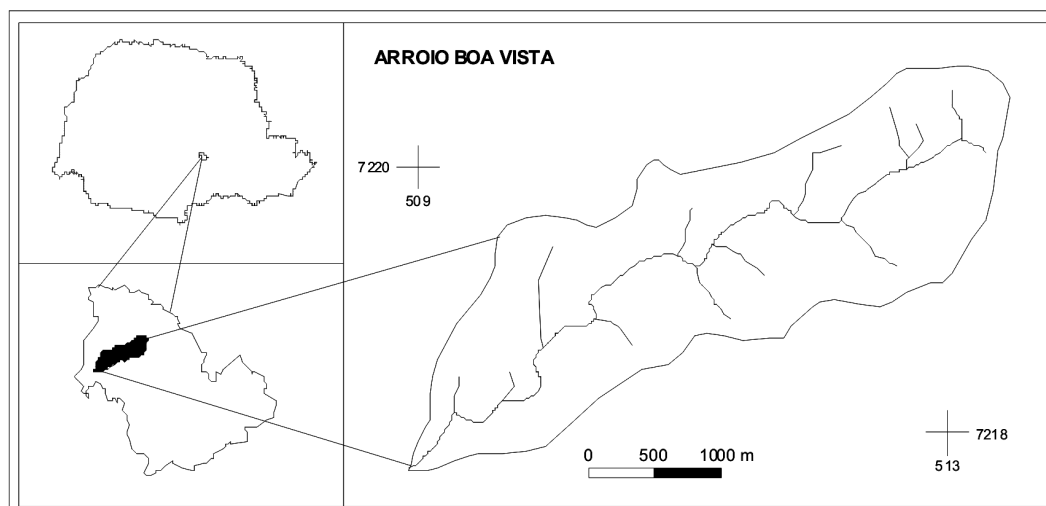
50° 54' 46" W em sua foz, e a latitude de 25° 07' 03" S e longitude 50° 52' 66" W em sua nascente principal. O rio principal apresenta altitude de 700 metros em sua foz, enquanto sua nascente principal apresenta altitude de 905 metros. A altitude máxima da bacia é de 951 metros.

O arroio Boa Vista é um afluente de terceira ordem da margem direita do Rio dos Patos (Bacia do Rio Ivaí). A cobertura florestal é representada pela vegetação de Floresta Ombrófila Mista (Mata de Araucária).

O regime climático em que a bacia está inserida é caracterizado segundo classificação de Köppen como Cfb, Subtropical úmido, com temperaturas médias anuais entre 17° e 19°C (MAACK, 1968).

Com relação aos índices pluviométricos, Antoneli (2004), verificou que existe certa regularidade nas distribuições das chuvas sendo que, no período de 1988 a 2003, a precipitação média anual foi de 2022 mm. Entretanto, alguns anos apresentaram uma variação em relação à média mais acentuada, com índices mais

Figura 1. Localização da área de estudos



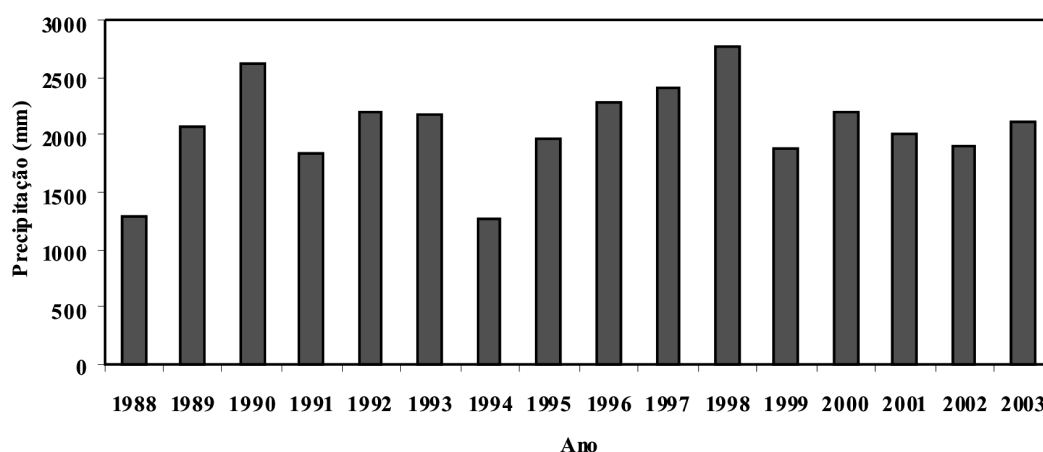
Elaborado por Antoneli (2004)

elevados, como por exemplo, o ano de 1998, em que o total da pluviosidade foi de 2750 mm e outros com índices inferiores em relação à média, a exemplo do ano de 1994, em que a pluviosidade foi de apenas 1250 mm (Figura 2).

transicional de marinho relativamente profundo a marinho dominado por mares. Já a Formação Rio do Rastro é composta de siltitos, argilitos e folhelhos.

Douhi (2004) destaca que em áreas de topo é possível encontrar camadas

Figura 2. Distribuição da pluviosidade anual no período de 1988 a 2003



Fonte: Os autores

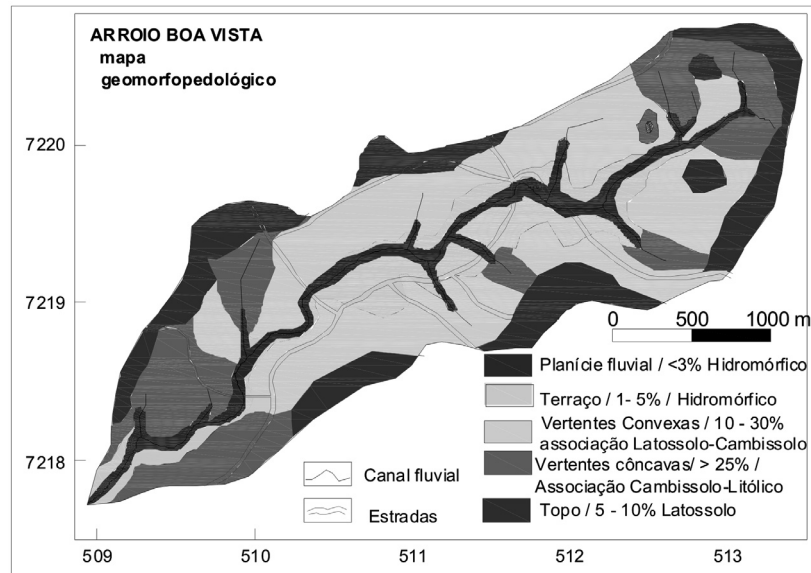
A formação geológica da área em estudo é composta por depósitos sedimentares paleozóicos, correspondentes à grande feição de sedimentação marinha e litorânea ocorrida na Bacia Sedimentar do Paraná. A área em estudo apresenta como predominância a Formação Rio do Rastro, com alguns afloramentos da Formação Teresina, sendo estes componentes do grupo Passa Dois (PETRI e FÚLFARO, 1983).

De acordo com a MINEROPAR (2001), a Formação Teresina é composta por uma alternância de argilitos e folhelhos com siltitos e arenitos muito finos cinza claros e, na porção superior, existem calcários e coquinas. Apresenta marcas onduladas, fendas de ressecamento, diques de arenito e microlaminação cruzada. Esta formação foi depositada num ambiente

residuais de diabásio, oriundos de “diques ou sills” Juro-Cretácio da Formação Serra Geral. Estas características, associadas ao clima, permitem o predomínio de vertentes côncavas/convexas (Figura 3).

Em relação à classificação de solos, na área em estudo existe uma associação de Latossolo Vermelho Escuro álico com Terra Bruna Estruturada álica, ambos apresentando um horizonte “A” proeminente, com textura argilosa (IAPAR, 1981).

A agricultura praticada no âmbito da bacia, segundo a classificação do IAPAR (1995), se insere no conglomerado denominado C13, que define a região com alta participação de culturas temporárias, principalmente fumo, milho e feijão; sendo utilizada a força do trabalho familiar e

Figura 3. Mapa geomorfológico da área de estudos associados às declividades

Fonte: Antoneli, 2004

de tração animal. É composta, ainda, de pastagens, mata natural de reflorestamento e áreas em pousio associadas à baixíssima utilização de insumos agro-industriais e motomecanização. O uso do solo na bacia é constituído por sete classes (Tabela 1), sendo elas: agricultura, faxinal³, floresta com araucária, pastagem, cultivo de erva mate, capoeira⁴ e reflorestamento com

eucalipto. O padrão e a dinâmica do uso da terra na área de estudo são representativos nos municípios de Guamiranga e Prudentópolis.

Metodologia

Características dos locais e procedimentos de mensuração

A bacia está totalmente inserida na área rural, que mesmo apresentando uma área de apenas 6,56 km² é ocupada por sete categorias de uso do solo (Tabela 1). O detalhamento da dinâmica do uso da terra e as características do meio físico da bacia estão descritas em Antoneli e Thomaz (2007).

Foram feitos testes de infiltração em sete tipos de uso do solo, sendo eles: agricultura, capoeira, floresta com araucária, reflorestamento com eucalipto, cultivo de erva mate e pastagem. Realizaram-se

3 Faxinal: sistema de produção camponês tradicional, característico da região Centro-Sul do Paraná, que tem como traço marcante o uso coletivo da terra para criação de animal a solta onde há consorciamento de áreas florestais com pastagens nativas

4 Capoeira - Vegetação de aproximadamente quatro metros de altura, devido ao rodízio de terras onde certas áreas são deixadas em pousio para regeneração da vegetação e composição da matéria orgânica. Estas áreas são utilizadas para a prática das roças de coivara com utilização da queimada para a limpeza do terreno.

Tabela 1. Percentuais de cada categoria do uso da terra na bacia do arroio Boa Vista

Uso do solo	¹ Local monitorado	Área (km ²)	Área %
Agricultura	P2	2,165	33,0
Faxinal	P4	1,449	21,6
Floresta com araucária	P1	1,262	19,3
Pastagem	P3	0,596	9,1
Erva-mate	P5	0,447	7,2
Capoeira	P6	0,439	6,7
Reflorestamento	P7	0,203	3,1
Total		6,56	100,0

Nota: ¹ Ponto monitorado localizado na figura 4.

Fonte: Antoneli (2004)

oito repetições em cada uso da terra, com exceção do uso floresta com araucária onde foram feitas sete repetições.

Os pontos de mensuração da infiltração nos principais tipos de uso foram definidos após mapeamento e análise de campo (ANTONELI, 2004; ANTONELI

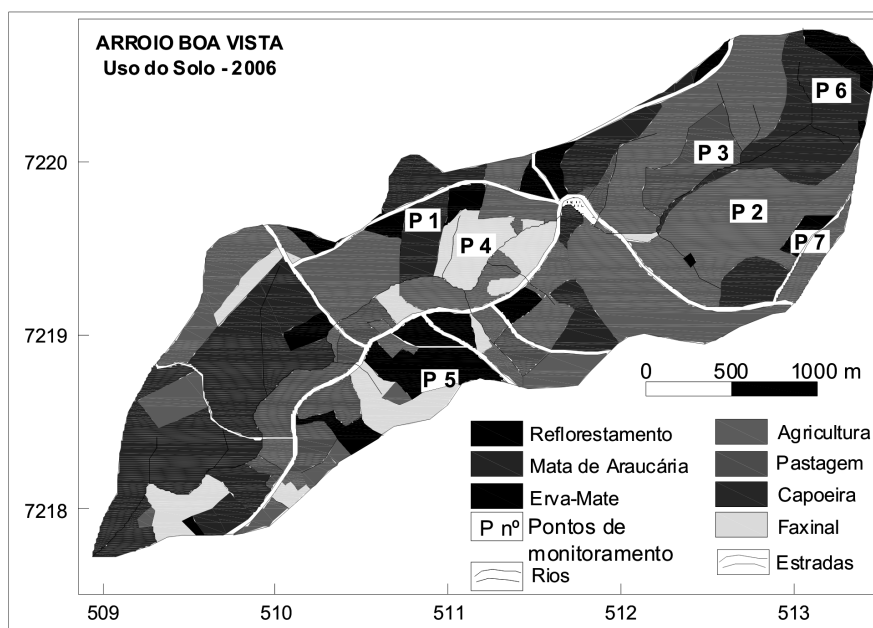
e THOMAZ, 2007) (Tabela 2). Os locais foram identificados em um mapa para que as repetições fossem realizadas sempre no mesmo local (Figura 4).

A mensuração de infiltração de água no solo nos sete tipos de uso do solo foi feita através de infiltrômetro de

Tabela 2. Características dos locais mensurados

Uso da Terra	Tipo de solo	Declividade	Características
Floresta com araucária (P1)	Argissolo vermelho amarelo	14%	Topo do solo recoberto por serrapilheira
Agricultura (P2)	Nitossolo Vermelho	18%	Cultura anual aveia preta (agosto) e cultivo com tabaco (dezembro).
Pastagem (P3)	Litólico	42%	Áreas com várias ravinas devido à compactação (pisoteio dos animais)
Faxinal (P4)	Pseudo-gley	9%	Área próxima aos cursos de água, com vegetação esparsa. Utilizado para a criação de animais.
Erva-mate (P5)	Nitossolo vermelho	8%	Cultura permanente (~8 anos). Solo exposto nas entre linhas do plantio
Capoeira (P6)	Litólico	25%	Vegetação composta por árvores de até 4 m de altura, topo do solo recoberto com serrapilheira.
Reflorestamento com eucalipto (P7)	Argissolo vermelho amarelo	22%	Cultura permanente (~5 anos) Plantio com espaçamento 2x1m

Fonte: Os autores

Figura 4. Mapa de uso do solo indicando os pontos de coleta dos dados

Fonte: Antoneli, 2004

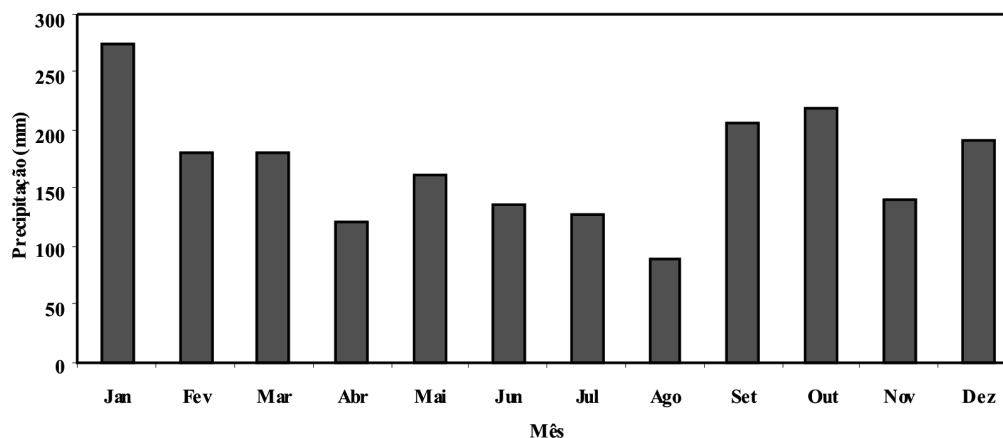
anel duplo. O anel duplo tende a evitar que haja muita transferência de água lateral, uma vez que a água é adicionada no anel externo e no anel interno, onde será feita a leitura da infiltração. Esse procedimento faz com que a infiltração ocorra verticalmente e não ocorra superestimativa na taxa de infiltração. Os anéis foram enterrados cuidadosamente em torno de cinco centímetros no solo. Posteriormente, a água foi adicionada constantemente, mantendo-se uma lâmina de 2 a 5 cm de altura dentro dos anéis. A mensuração foi feita durante uma hora em intervalos de cinco minutos (adotado como tempo padrão). A taxa de infiltração básica (infiltração constante) é considerada quando a leitura do anel interno se repete pelo menos três vezes seguidas (BRANDÃO et al., 2002).

Entretanto, o tempo de mensuração de sessenta minutos pode não ser suficiente para que este padrão ocorra. Por outro lado, neste estudo não se buscou necessariamente obter a taxa de infiltração básica, mas sim comparar a infiltração (total e velocidade) em diferentes usos no tempo de sessenta minutos.

Os ensaios foram realizados em dois períodos: o primeiro, durante todo o mês de agosto de 2003, por ser considerado o mês mais seco do ano na região, e o segundo, no mês de dezembro, por ser o período de maior concentração de chuva (Figura 5).

A escolha desses dois períodos foi em função do levantamento histórico da pluviosidade da região (ANTONELI, 2004). Não foram realizadas coletas para avaliar a umidade antecedente do solo, apenas

Figura 5 - Pluviosidade mensal no ano de 2003



Fonte: Os autores

procurou-se proceder às mensurações de infiltração distribuídas ao longo dos dois meses avaliados, de modo a garantir que os ensaios de agosto fossem em período seco e os de dezembro em período úmido (Tabela 3).

A interpretação e a comparação da capacidade de infiltração de cada uso foram baseadas na classificação proposta

por Reichardt (1990), pois ela possibilita análise, tanto qualitativa, quanto quantitativa (Tabela 4).

Análise de dados

Os dados foram tabulados e tratados por meio do *software PAST*

Tabela 3. Precipitação ocorrida no período de mensuração da infiltração nos meses de agosto e dezembro

Período seco (agosto)			Período úmido (dezembro)		
Data da Precipitação	Precipitação (mm)	Data da Mensuração	Data da precipitação	Precipitação (mm)	Data da Mensuração
19/jul	50,5	1/ago / (12) ¹	26/nov	25,6	1/dez / (5) ¹
-	-	5/ago / (16)	-	-	5/dez / (9)
6/ago	32,0	8/ago / (2)	11/dez	36,5	11/dez / (0)
-	-	12/ago / (6)	15/dez	20,0	15/dez / (0)
-	-	17/ago / (11)	19/dez	18,0	20/dez / (1)
-	-	21/ago / (15)	23/dez	52,0	24/dez / (1)
24/ago	8,0	26/ago / (2)	22/dez	-	27/dez / (5)
-	-	30/ago / (6)	-	-	31/dez / (9)
Precipitação total no mês de mensuração		40,0	126,5		

Nota: (-) não houve registro de precipitação; ¹número entre parênteses indica período sem chuva antes da mensuração da infiltração.

Fonte: Os autores

Tabela 4. Interpretação da taxa de infiltração

Infiltração básica	Taxa
Muito alta	> 3 00 mm/h
Alta	150 – 300 mm/h
Média	50 – 150 mm/h
Baixa	50 – 10 mm/h
Muito baixa	<10 mm/h

Fonte: Reichardt (1990, p. 85)

(PALaeontological STatistics). A análise dos dados foi realizada da seguinte forma: 1) estatística descritiva (média, desvio padrão, coeficiente de variação etc.); 2) análise de variância univariada (ANOVA) e Teste t para média pareadas; 3) comparação de médias e estabelecimento de diferença mínima significativa; 4) análise de agrupamentos. A aplicação das técnicas e análises estatísticas univariada seguiu as recomendações e procedimentos contidos em Vieira (1980 e 1999), enquanto que a análise exploratória multivariada (análise de agrupamento) foi baseada em Hair et al. (2005).

De acordo com Vieira (1980), a análise de variância aplicada a experimento/mensuração ao acaso apresenta as seguintes características: a) o objetivo da análise variância é verificar se as amostras foram retiradas de populações com o mesmo valor de média; b) é utilizada para comparar média de mais de duas populações (aplicando o teste F); c) a variável deve apresentar distribuição normal ou aproximadamente normal; d) a análise variância busca explicar as causas da variação das médias que podem ser de dois tipos: 1) uma explicação é o fato das amostras provirem de populações diferentes (variabilidade entre); 2) outra explicação é o acaso, porque mesmo dados

provenientes da mesma população variam (variabilidade dentro) (VIEIRA, 1980).

A aplicação da análise de variância univariada (ANOVA), isto é, apenas um fator como elemento de influência teve por objetivo comparar as taxas de infiltração obtidas nos diferentes usos da terra. Essas comparações foram feitas entre os usos nos dois meses mensurados (agosto e dezembro) (comparação horizontal) e comparando-se a infiltração entre os usos da terra dentro do mês avaliado (comparação vertical).

O nível de significância adotado para todas as análises foi 5% ($\alpha 0,05\%$), isto é, o grau de significância do teste indica que há 5% de probabilidade de se rejeitar uma hipótese (H_0 ou H_1) quando ela é de fato verdadeira. Após a realização da análise de variância, comparam-se as médias para se estabelecer quais delas foram diferentes e qual o limite de uma para outra. Esse processo levou ao estabelecimento da *diferença mínima significativa (d.m.s)*. Utilizou-se o *Teste de Tukey* (Equação 1) para estabelecer esse limite. De acordo com Vieira (1999), toda vez que o valor absoluto da diferença entre duas médias for igual ou maior do que a diferença mínima significativa, as médias serão consideradas estatisticamente diferentes, ao nível de significância estabelecida.

Equação 1. Teste de Tukey

$$d.m.s = q \sqrt{\frac{QMR}{r}}$$

Em que:

d.m.s = diferença mínima significativa.

q = valor dado na tabela ao nível de significância estabelecido.

QMR (MQ) = quadrado médio do resíduo dentro do grupo de acordo com análise de variância.

r = número de repetições de cada tratamento.

Por sua vez, a análise de agrupamento buscou agrupar os usos das terras por meio da similaridade da infiltração de água no solo registrada em cada ambiente independente do período de mensuração (seco ou úmido). Para compor a análise de agrupamento utilizou-se a infiltração total e a taxa de infiltração final obtidas em cada uso nos meses de agosto e dezembro. A taxa de infiltração constante (taxa de infiltração final) foi considerada quando a leitura do anel interno se repetiu pelo menos três vezes seguidas (BRANDÃO et al., 2002). Foi utilizada a *distância euclidiana* para formação dos grupos de usos da terra (similaridade) (HAIR et al., 2005).

Resultados

A maioria dos ensaios apresentou coeficientes de variação inferiores a 10%, o que é considerado baixo para esse tipo de mensuração (PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2002). A variação tendeu a ser maior nas mensurações realizadas no período úmido (dezembro).

A infiltração de água no solo mensurada nos diferentes usos nos meses de agosto (período seco) e dezembro

(período úmido) apresentou diferenças estatísticas significativas (Tabela 5). A infiltração foi maior nos ensaios realizados em agosto, sendo que o uso com agricultura mecanizada apresentou a maior taxa de infiltração total nos dois períodos avaliados. Contrariamente, o uso da terra com pastagem registrou a menor taxa de infiltração nos dois períodos avaliados.

Em relação à redução na taxa de infiltração total em comparação a agosto e dezembro, verificou-se que os usos com capoeira e reflorestamento com eucalipto registraram as menores reduções na infiltração. Os usos da terra com floresta, agricultura mecanizada, Faxinal e erva mate apresentaram reduções na taxa de infiltração semelhante. Todavia, a maior redução na taxa de infiltração foi registrada nas áreas com pastagens (57,9%).

As mensurações realizadas em agosto apresentaram maiores diferenciações entre os tipos de usos da terra, haja vista ter sido identificado apenas como resultados estatisticamente equivalentes as taxas de infiltração registradas nos usos de faxinal e reflorestamento com eucalipto, sendo este último semelhante ao uso com erva mate (Tabela 6). Por outro lado, os ensaios realizados em dezembro apresentaram taxas de infiltração semelhantes entre os usos da terra mais do que o mês anterior, isto é, não ocorreu nítida diferenciação na infiltração entre os diferentes usos da terra à exceção do uso com pastagem.

O coeficiente de variação registrado na taxa de infiltração final foi variado dentro dos diferentes usos, diferentemente ao observado na mensuração da infiltração total em que o coeficiente de variação foi

Tabela 5. Comparação entre a infiltração total acumulada mensurada nos meses de agosto e dezembro de acordo com o uso da terra

Uso da Terra	Infiltração em período seco (agosto) (mm/h)	Infiltração em período úmido (dezembro) (mm/h)	Redução na infiltração acumulada em relação a Agosto/dezembro (%)
Floresta com Araucária ¹	33,0 ± 1,46 ² e ³ (*)	24,6 ± 2,95c	25,5
Agricultura Mecanizada	37,0 ± 3,27f	28,0 ± 5,66c	24,3
Pastagem	17,8 ± 2,43a	7,5 ± 2,41a	57,9
Faxinal	24,9 ± 1,01c	19,8 ± 1,64bc	20,5
Erva-mate	28,0 ± 1,64d	21,3 ± 1,56bc	23,9
Capoeira	21,6 ± 1,47b	18,0 ± 1,75b	16,7
Reflorestamento com Eucalipto	26,9 ± 1,30cd	24,1 ± 1,18c	10,4

Nota: ¹ Média baseada em sete repetições, as demais são baseadas em oito repetições;

²Desvio padrão;

³As letras comparam a taxa de infiltração entre os usos dentro do período, sendo que coluna seguida de mesma letra não difere ao nível de 5% estabelecido pelo Teste de Tukey;

(*) Todas as médias apresentaram diferença significativa ao nível de 5% estabelecido pelo Teste t. Esta análise considera a média de infiltração no mesmo uso, porém a comparação é entre os períodos (seco e úmido).

Fonte: Os autores

Tabela 6. Comparação entre a taxa de infiltração final de água no solo de acordo com o uso da terra dentro de cada mês mensurado

Uso da Terra	Taxa de infiltração final (agosto) (mm/h)	Avaliação	Taxa de infiltração final (dezembro) (mm/h)	Avaliação	Modificação na taxa de infiltração final em relação a Agosto/dezembro (%)	Comparação das médias Agosto/dezembro
Floresta com Araucária ¹	1,43 ± 0,28 ² c ³	Baixa	0,91 ± 0,29bc	Muito baixa	36,4	*
Agricultura Mecanizada	1,94 ± 0,16d	Baixa	1,19 ± 0,50c	Baixa	38,7	*
Pastagem	0,66 ± 0,24a	Muito baixa	0,21 ± 0,17a	Muito baixa	68,2	*
Faxinal	1,35 ± 0,13c	Baixa	0,90 ± 0,14bc	Muito baixa	33,3	*
Erva-mate	1,56 ± 0,09c	Baixa	0,84 ± 0,15bc	Muito baixa	46,2	*
Capoeira	1,04 ± 0,09b	Baixa	0,64 ± 0,11b	Muito baixa	38,5	*
Reflorestamento com Eucalipto	0,98 ± 0,18b	Muito baixa	1,09 ± 0,16c	Baixa	+11,2	n.s

Nota: ¹Média baseada em sete repetições, as demais são baseadas em oito repetições;

²Desvio padrão;

³As letras comparam a taxa de infiltração entre os usos dentro do período, sendo que coluna seguida de mesma letra não difere ao nível de 5% estabelecido pelo Teste de Tukey.

*As médias apresentaram diferença significativa ao nível de 5% estabelecido pelo Teste t, enquanto n.s indica média com diferença não significativa estatisticamente. Esta análise considera a média de infiltração no mesmo uso, porém a comparação é entre os períodos (seco e úmido).

Fonte: Os autores

baixo. Igualmente à análise anterior, a variação tendeu a ser maior nas mensurações realizadas no período úmido (dezembro). O uso da terra com pastagem apresentou o maior coeficiente de variação dentro do conjunto de usos nos dois meses avaliados agosto (36%) e dezembro (81%).

De acordo com a classificação de Reichardt (1990), as mensurações realizadas em agosto foram, em sua maioria, baixas, já as realizadas em dezembro tiveram a maioria dos usos com taxa de infiltração muito baixa. Novamente, o uso da terra com pastagem configurou-se por apresentar taxa de infiltração muito baixa nas duas avaliações. Por outro lado, o uso da terra com reflorestamento de eucalipto passou de infiltração muito baixa em agosto para baixa na mensuração de dezembro.

Houve redução da taxa de infiltração final registrada em dezembro em comparação com as registradas no mês de agosto (Tabela 6 e Figura 6). Alguns usos tiveram padrão de redução na taxa de infiltração próxima (floresta, agricultura mecanizada, faxinal e capoeira). O reflorestamento com eucalipto teve comportamento diferente dos demais usos, uma vez que houve aumento da taxa de infiltração em dezembro (+11,2%). Porém, esse aumento não foi significativo estatisticamente ($p=0,35$). O uso com pastagem, igualmente às outras análises, apresentou a maior redução na taxa de infiltração final (68,2%).

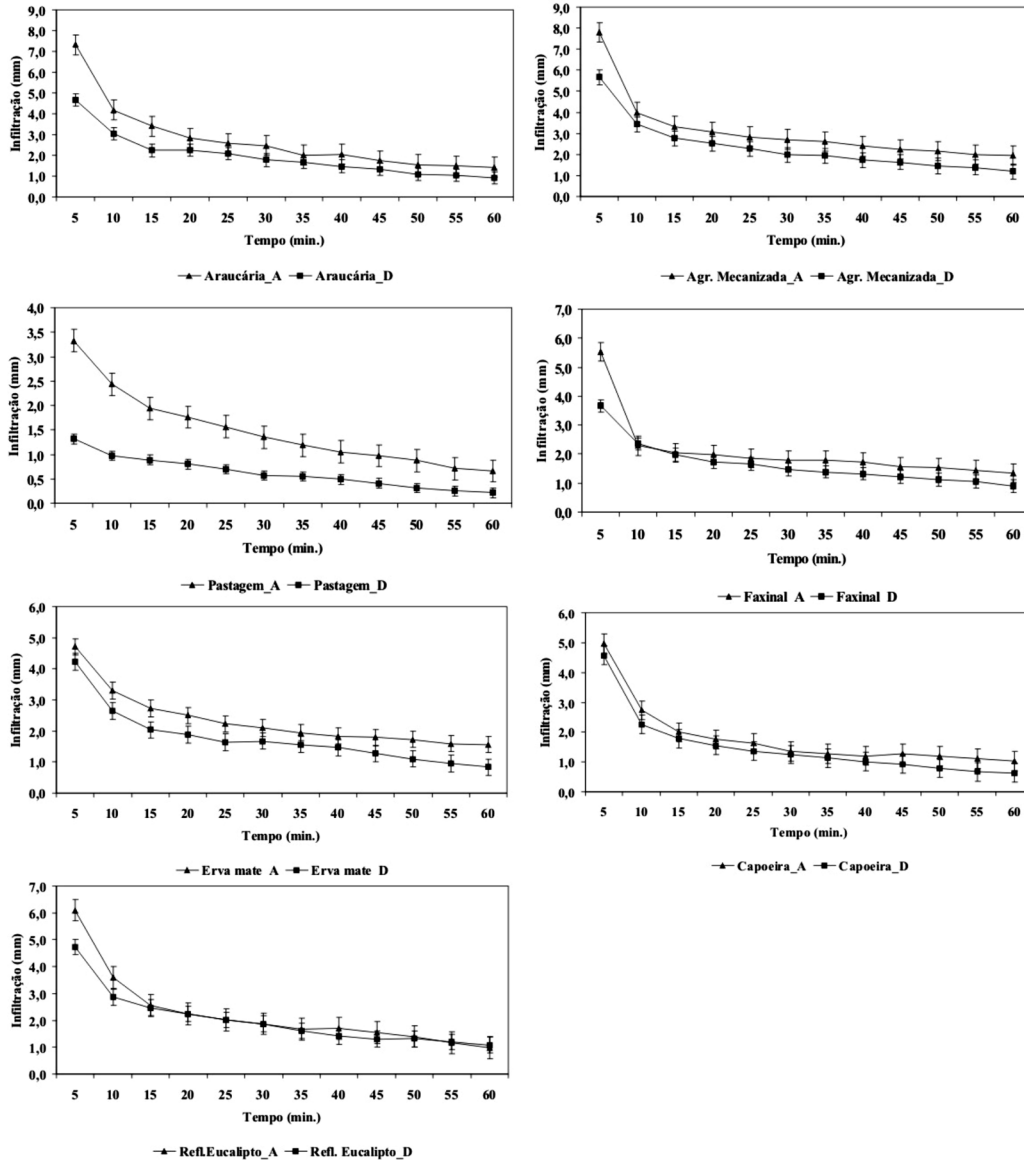
Na figura 6 observa-se o padrão de infiltração de acordo com os usos da terra nos meses de agosto e dezembro. O processo de infiltração foi rápido no início da mensuração (até 10 a 15 min)

e decresceu rapidamente ao longo do tempo, indicando que, nos primeiros quinze minutos, a capacidade de absorção de água no solo é maior e, com o passar do tempo (minutos), a camada superficial está saturada, diminuído assim a taxa de infiltração, até chegar num determinado momento em que a infiltração apresenta valores constantes. De maneira geral, a curva de infiltração em agosto se manteve acima da curva de infiltração registrada em dezembro. Esse padrão foi mais nítido no ensaio realizado na pastagem. Na área de reflorestamento com eucalipto, esse padrão foi mantido no início do ensaio, posteriormente, a taxa de infiltração nos dois referidos meses manteve-se praticamente juntas (sobrepostas).

A análise de agrupamento (Figura 7) apresentou certa correspondência com as análises de variância univariada indicadas anteriormente (Tabelas 5 e 6). Em termos de proximidade, formou-se um bloco com o reflorestamento com eucalipto e faxinal; seguindo para outros níveis aglomerativos, juntam-se a esses usos a erva mate (maior taxa de infiltração) e capoeira um pouco mais distante, indicando uma redução na taxa de infiltração neste último uso em comparação com os demais.

Em seguida, outro par que se agrupa é o uso da terra com floresta e agricultura mecanizada, que apresentaram as maiores taxas de infiltração dentro do conjunto de usos. Por sua vez, o uso com pastagem distancia-se dos demais usos com proximidade apenas no último nível aglomerativo, haja vista ter sido esse uso o que mais se diferenciou estatisticamente nas análises anteriores (menor taxa de infiltração).

Figura 6. Comportamento da infiltração mensurada durante 60 minutos nos meses de agosto e dezembro de acordo com o uso da terra



Nota: Uso da Terra_A (mensuração em agosto) e Uso da Terra_D (mensuração em dezembro); Barras indicam erro padrão da média com 95% de confiabilidade.

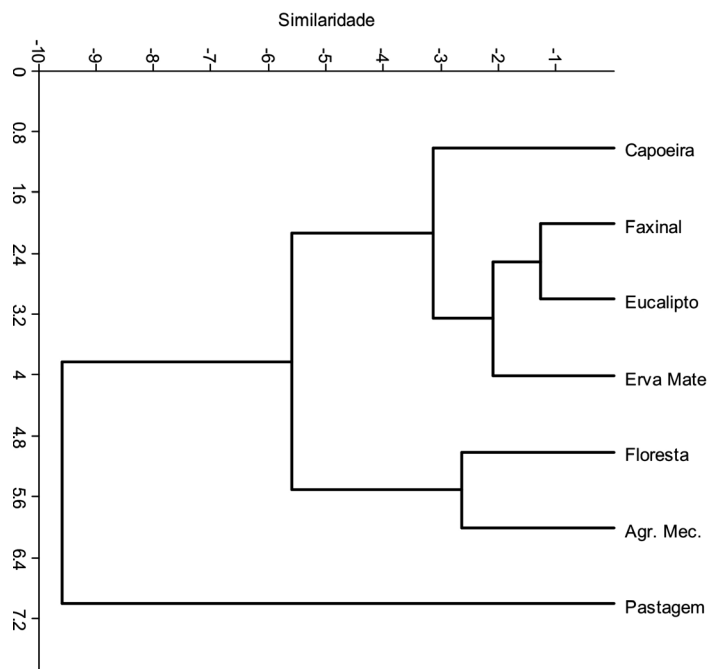
Fonte: Os autores

Discussão e Conclusão

O comportamento da infiltração mostrou-se rápido no início, decrescendo posteriormente em todos os usos

independente do período da mensuração (seco ou úmido). Esse padrão é corroborado pelo modelo de infiltração proposto por HORTON (1933), pois este indica que a infiltração inicial é alta e

Figura 7. Dendrograma: agrupamento dos usos da terra a partir da taxa de infiltração mensurada em agosto e dezembro (Coeficiente de correlação cofenética 0,821)



Nota: O eixo horizontal (negativo) indica o grau de similaridade entre os usos, enquanto que o eixo vertical (positivo) indica a distância de ligação entre os grupos formados a partir dos diferentes usos da terra.

Fonte: Os autores

decrece exponencialmente com o passar do tempo, tornando-se praticamente constante após uma a três horas de chuva (curva assintótica).

O padrão e a dinâmica do uso da terra na bacia do arroio Boa Vista apresenta significativa diversidade de usos (mosaico), sendo eles um dos principais responsáveis por diferentes respostas na capacidade de infiltração de água. Por consequência, esperam-se também diferentes comportamentos hidro-erosivos em cada unidade de terra existente na bacia.

Em paisagens agrícolas, o uso da terra influencia sobremaneira a dinâmica hidrológica das vertentes. Tal fato ocorre,

principalmente, devido à mudança que ocorre na taxa infiltração. Além disso, os usos da terra tendem a apresentar significativa mudança têmporo-espaial nos processos hidrológicos (BRAUDY, 1989; BURT, 2001; MORGAN, 2005).

Houve diferença significativa na capacidade de infiltração de água no solo, mensurada no período seco em comparação com o período úmido. Em agosto, a infiltração total foi maior; além disso, os ensaios realizados nesse período conseguiram diferenciar melhor o padrão de infiltração nos diferentes usos da terra. De maneira geral, a taxa de infiltração final em agosto foi classificada como baixa e em dezembro a maioria foi classificada

como muito baixa. Parte dessa resposta deve-se a textura argilosa do solo, uma vez que, mesmo as áreas florestadas, apresentaram taxa de infiltração final baixa e muito baixa. A textura é uma característica que influencia a taxa de infiltração (MORGAN, 2005). Os solos arenosos apresentam maior quantidade de macroporos do que os solos de textura fina (argilosos) (BRANDÃO et al., 2002).

As taxas de infiltração na área de reflorestamento com eucalipto e faxinal, seguido dos usos com erva mate e capoeira constituíram-se um grupo com taxa de infiltração próximos, sobretudo, na análise de agrupamento. Estes usos têm em comum a cobertura vegetal permanente, além do recobrimento do topo do solo com serrapilheira. Tal padrão pode ser estendido para a área com floresta com araucária. A infiltração em áreas florestadas tende a ser superior ao verificado em áreas com solo descoberto ou com uso agrícola (plantio convencional e direto) (PRIMAVESI, 1999, BRANDÃO et al., 2002; MORGAN, 2005).

A infiltração em área com agricultura mecanizada foi superior comparada aos demais usos e pelo agrupamento similar a floresta. Este resultado pode estar relacionado ao efeito do revolvimento da camada superficial do solo por meio do uso de implementos agrícolas (grade aradora e arado de disco). Estes implementos deixam o topo do solo menos denso e facilita a infiltração superficial. Contudo, em profundidade variando entre quinze a trinta centímetros, ocorre o limite de trabalho dos implementos originando

a formação de camada mais adensada (pé-de-grade ou pé-de-arado). Esta diferença de densidade das camadas pode levar à descontinuidade hidráulica (CAMARGO e ALLEONI, 1997). O equipamento utilizado (infiltrômetro) não consegue identificar esta variação, pois a mensuração da infiltração ocorre apenas no topo do solo, principalmente, na camada arável do solo.

O uso da terra com pastagem, em todas as análises, apresentou a menor capacidade de infiltração de água, tanto em relação à infiltração total, quanto na taxa de infiltração final. Evans (1998) destaca que, em diversas comparações feitas em área de pastoreio, e em área não utilizada para pastoreio os resultados indicaram que, nas áreas de pastagem, a densidade do topo do solo foi maior em 88% dos casos (n 43); a infiltração foi menor em 90% dos casos (n 70); o escoamento foi maior em 95% dos casos (n 19) e a erosão foi maior em 81% dos casos (n 32) (EVANS, 1998, p. 262). Nas pastagens, a compactação devido ao pisoteio do gado provoca efeitos importantes, sobretudo, a redução da infiltração, aumento do escoamento superficial e aumento da erosão do solo (TRIMBLE e MENDEL, 1995; EVANS, 1998; CASSOL et al., 1999; THOMAZ, 2007).

Agradecimentos

Agradecemos aos agricultores da bacia do arroio Boa Vista por permitirem a entrada e a realização das mensurações em suas propriedades. Agradecemos também aos revisores anônimos pela contribuição para o aprimoramento deste trabalho.

Referências

- ANTONELI, V. *Influência do uso do solo na avaliação hidro-sedimentológica da Bacia do Arroio Boa Vista – Guamiranga (PR)*. 2004. 147 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá – UEM. Maringá. Paraná.
- ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L. Caracterização do meio físico da Bacia do Arroio Boa Vista- Guamiranga –PR. *Caminhos da Geografia*. Uberlândia, n. 21, p. 46-58. 2007.
- AUZET, A. V.; POESEN, J.; VALENTIN, C. Soil patterns as a key controlling factor of soil erosion by water. *Catena*, Elsevier B.V., v.46, n. 2, p. 85-87, 2002.
- BRANDÃO, V. S.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. *Infiltração da água no solo*. Viçosa: UFV, 2002.
- BRAUDY, J. Interactions between agricultural and ecological systems at the landscape level. *Agriculture Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v. 27, n.2, p. 119-130, 1989.
- BRYAN, R. B. Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. *Geomorphology*, v. 32, n. 3-4, p. 385-415, Mar. 2000.
- BURT, T. P. Integrated management of sensitive catchment systems. *Catena*, Elsevier B.V., v.42, n. 2-4, p. 275-290, Jan. 2001.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. *Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas*. Piracicaba: ESALQ, 1997.
- CASSOL, E. A.; LEVIEN, R.; JONG van LIER, Q.; BADELUCCI, M. P. Infiltração de água e perdas de água e solo por erosão influenciadas por diferentes métodos de melhoramento da pastagem nativa gaúcha. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 23, n.4, p. 923-931, 1999.
- EVANS, R. The erosional impacts of grazing animals. *Progress in Physical Geography*, London, v.22, n.2, p. 251- 268, 1998.
- DOUHI, N. *Análise das condições físico-ocupacionais e suas implicações no comportamento hídrico da bacia hidrográfica do Rio Xaxim – Prudentópolis –PR*. 2004. 127 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá – UEM. Maringá, Paraná.
- DUNNE, T.; LEOPOLD, L. B. *Water in environmental planning*. New York: W. H. Freeman and Company, 1978.
- HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. *Análise multivariada de dados*. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- HORTON, R. E. The role of infiltration in the hydrological cycle. *Transactions American Geophysical Union*, v. 14, p.446-460, 1933.

- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANA – IAPAR. *Mapeamento de solos do Paraná*. Londrina, IAPAR, 1981.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANA – IAPAR. *Caracterização da agricultura no Paraná*. Londrina, IAPAR, 1995.
- IMENSON, A. L. Geomorphological processes, soil structure and ecology. In: PITTY, A. (Editor). *Themes on Geomorphology*. London: Croomhelm, 1985.
- MAACK, R. *Geografia Física do Paraná*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná e Instituto de Biologia e Pesquisa Tecnológica, 1968. 350 p.
- McCAIG, M. Soil properties and subsurface hydrology. In: RICHARDS, K.S., ARNETT, R. R.; ELLIS, S. *Geomorphology and soils*. London: Allen & Unwin, p. 121-140, 1985.
- MINÉRIOS DO PARANÁ – MINEROPAR. *Atlas geológico do Estado do Paraná*. Curitiba, MINEROPAR, 2001.
- MORGAN, R. P. C. *Soil Erosion and Conservation*. Blackwell, Oxford, 2005.
- PETRI, S.; FÚLFARO, V. J. *Geologia do Brasil*. São Paulo: T. A Queiroz, Ed. USP, 1983.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. *Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos*. Piracicaba: FEALQ, 2002.
- PRIMAVESI, A. *Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais*. São Paulo: Nobel, 1999.
- REICHARDT, K. *A água em sistemas agrícolas*. São Paulo: Monole, 1990.
- THOMAZ, E. L. Processo hidrológico superficial e uso da terra em Guarapuava-PR: mensurações em parcelas pequenas. *Geografia*, Rio Claro, v.32, p. 89-106, 2007.
- TRIMBLE, S. W.; MENDEL, A. C. The cow as a geomorphic agent: a critical review. *Geomorphology*, v.13, p. 233 – 253, 1995.
- VIEIRA, S. *Introdução à bioestatística*. Rio de Janeiro: Campus, 1980.
- VIEIRA, S. *Estatística experimental*. São Paulo: Atlas, 1999.
- WAINWRIGHT, J.; CASES, A. C.; PUIGDEFÁBREGAS, J.; MICHAELIDES, K. Editorial. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 27, p. 1363-1364, 2002.