



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO CEDETEG
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS - SEAA/G
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - PPGG**



**USO E DEGRADAÇÃO DO SOLO EM ÁREAS SOB
DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO, MUNICÍPIO DE
RESERVA - PR**

GUARAPUAVA, 2013

ADALBERTO ALVES PEREIRA

**USO E DEGRADAÇÃO DO SOLO EM ÁREAS SOB
DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO, MUNICÍPIO DE
RESERVA - PR**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Geografia (Área de Concentração: Dinâmica da Paisagem e dos Espaços Rurais e Urbanos).

Orientador: Prof^o Dr. Edivaldo Lopes Thomaz

Linha de Pesquisa: Geomorfologia, Dinâmica das Paisagens e Análise Ambiental.

GUARAPUAVA/PR, 2013

Catálogo na Publicação
Biblioteca Central da UNICENTRO, Campus Cedeteg

P436u Pereira, Adalberto Alves
 Uso e degradação do solo em áreas sob diferentes sistemas de
 manejo, município de Reserva - PR / Adalberto Alves Pereira. – –
 Guarapuava, 2013
 x, 61 f. : il. ; 28 cm

 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste,
 Programa de Pós-Graduação em Geografia, área de concentração em
 Dinâmica da Paisagem e dos Espaços Rurais e Urbanos, 2013

 Orientador: Edivaldo Lopes Thomaz
 Banca examinadora: José Edézio da Cunha, Valdemir Antoneli

 Bibliografia

 1. Geografia. 2. Solo - mensuração. 3. Solo - atributos. 4. Qualidade
 ambiental. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Geografia.

CDD 631.4098162



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO CEDETEG
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS – SEAA/G
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - PPGG



TERMO DE APROVAÇÃO

ADALBERTO ALVES PEREIRA

USO E DEGRADAÇÃO DO SOLO EM ÁREAS SOB DIFERENTES
SISTEMAS DE MANEJO, MUNICÍPIO DE RESERVA-PR

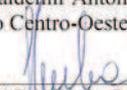
Dissertação **APROVADA** em 20/12/2013 como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Geografia, na área de concentração Dinâmica da Paisagem e dos Espaços Rurais e Urbanos, da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), pela seguinte banca examinadora:



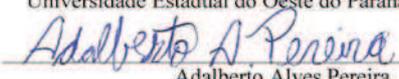
Prof. Dr. Edivaldo Lopes Thomaz – presidente
Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO)



Prof. Dr. Valdemir Antoneli,
Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO)



Prof. Dr. José Edezio da Cunha
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)



Adalberto Alves Pereira

Guarapuava (PR), 20 de dezembro de 2013.

Dedico este trabalho aos meus pais, minha esposa e minha filha Júlia Gabriela.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar saúde para realizar este trabalho.

Agradeço à minha família, meus pais, minha esposa Lauriane e minha filha Júlia Gabriela pelo apoio nesta caminhada.

Agradeço ao Prof. Edivaldo Lopes Thomaz por toda a contribuição dada nas discussões e auxílio para o desenvolvimento e realização de mais esta etapa em minha vida acadêmica.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Unicentro, seus professores e ao secretário Alceu por toda dedicação e auxílio prestado aos mestrandos.

Agradeço a CAPES pela concessão de bolsa de estudos durante a realização do trabalho.

Agradeço aos proprietários e moradores da Bacia Hidrográfica do Arroio Palmeirinha, em especial a Antônio Cezar e Nadir do Espírito Santo.

Agradeço aos colegas de mestrado Paulo Fachin e Gustavo Peretto pelo auxílio nas atividades de campo e laboratório.

Agradeço a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
INTRODUÇÃO	11
1. REFERENCIAL TEÓRICO	13
1.1 Manejo do solo	13
1.2 Física de solos	14
1.2.1 Densidade do solo	15
1.2.2 Porosidade.....	16
1.2.3 Resistência à penetração	18
1.2.4 Estabilidade de Agregados	19
1.2.5 Água do Solo.....	20
1.3 Propriedades químicas do solo.....	22
2. MATERIAIS e MÉTODOS	25
2.1 Características da Área de Estudo.....	25
2.2 Mapeamento da área de estudo	29
2.3 Avaliação Física do Solo.....	29
2.3.1 Densidade e Porosidade	30
2.3.2 Resistência a Penetração	31
2.3.3 Estabilidade de Agregados	32
2.3.4 Infiltração e Condutividade hidráulica	33
2.4 Avaliação Química.....	36
2.5 Análise estatística.....	36
3. RESULTADOS e DISCUSSÃO	37
3.1 Relevo e Uso do Solo	37
3.2 Física do Solo.....	40
3.2.1 Densidade e Porosidade	40
3.2.2 Resistência mecânica à penetração.....	43
3.2.3 Estabilidade de Agregados	44
3.2.4 Índice de estabilidade de agregados	45
3.2.5 Infiltração e Condutividade hidráulica	46
3.3 Química do Solo.....	49

4. CONCLUSÕES.....	53
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo avaliar o uso e degradação dos solos cultivados sob diferentes sistemas de manejo com destaque aos solos cultivados com feijão preto (*Phaseolus vulgaris L.*) na bacia hidrográfica do Arroio Palmeirinha, município de Reserva-PR. Foram escolhidas cinco áreas para realização deste estudo, sendo: três áreas cultivadas com feijão; uma com pastagem; e uma com floresta. Coletou-se 12 amostras indeformadas de solo em cada profundidade (0-5; 5-15; 15-30 cm) totalizando 36 amostras por área para mensuração dos parâmetros físicos (densidade, porosidade, estabilidade de agregados), utilizou-se um infiltrômetro de tensão para mensuração da infiltração e da condutividade hidráulica e um penetrômetro de impacto para avaliação da resistência à penetração. Foram coletadas três amostras em cada área e profundidade para análise de macro-nutrientes, matéria orgânica e pH do solo. Após coleta as amostras foram catalogadas e enviadas a um laboratório credenciado para análise. A densidade do solo não apresentou valores críticos em nenhuma das áreas estudadas, a porosidade total do solo ficou próximo dos valores considerados ideais na literatura variando entre 40 e 60% para todas as áreas e profundidades. A resistência mecânica do solo não variou significativamente entre as áreas cultivadas com feijão e a área de floresta, estas áreas apresentaram valores superiores aos considerados críticos (2,0 Mpa) apenas na camada de 15-30 cm. A área de pastagem (Pt) foi a única a apresentar valores superiores aos críticos em todas as camadas avaliadas. Os índices de estabilidade de agregados foram elevados nas áreas de feijão 2 (F2), floresta (Ft) e Pt demonstrando a influência da matéria orgânica e das raízes das gramíneas na formação e estabilização dos agregados. A infiltração e a condutividade hidráulica em diferentes tensões aplicadas com o infiltrômetro de tensão foram os parâmetros físicos que apresentaram maior diferença significativa entre as formas de manejo, demonstrando que a área de feijão 1 (F1) apresenta estrutura degradada devido à destruição dos macroporos, que são responsáveis pela maior parte da circulação de água e ar no interior do solo. De modo geral observa-se que a área F2 por ter sofrido a queima em um estágio de tempo mais recente que as demais áreas, apresentou melhores condições químicas, superiores e/ou semelhantes aos da área de floresta, com elevação do pH, matéria orgânica, P, CTC e Saturação de bases. A área (F1) na comparação com as demais áreas apresentou os indicadores químicos mais baixos, com destaque para o pH, teor de matéria orgânica e saturação por bases, nos quais chegou à apresentar diferenças de cerca de 50% nos valores das demais áreas cultivadas com feijão. O tempo de regeneração (F2) não foi suficiente para alterar os parâmetros físicos, mas a roçada e queima da vegetação acelerou a liberação dos nutrientes do solo contribuindo para a melhoria das condições químicas do solo. Conclui-se desta forma que a forma do manejo do solo tem maior efeito sobre os atributos químicos do que o tempo (idade) de manejo, já que a área de feijão 3 (F3) apresentou condições químicas superiores à área F1. Conclui-se também que na bacia do Arroio Palmeirinha o uso do solo com pastagens tem provocado maior degradação física do solo se comparada com as áreas cultivadas com feijão, o que pode comprometer a qualidade ambiental da bacia, já que, as pastagens ocupam mais de 50% de sua área total.

Palavras-chave: mensuração; atributos do solo; qualidade ambiental

ABSTRACT

This study aims to evaluate the use and degradation of soils under different management systems with emphasis on soils under black beans (*Phaseolus vulgaris L.*) in the watershed of the Palmeirinha stream, in Reserva city, Paraná state. Five areas were chosen to pair this study, being three areas cultivated with beans, one with grassland, and one with the forest. Was collected 12 undisturbed soil samples at each depth (0-5, 5-15, 15-30 cm), totaling 36 samples per area measurement of physical parameters (density, porosity, aggregate stability), we used a tension infiltrometer for measurement of infiltration and hydraulic conductivity and impact penetrometer for evaluating penetration resistance. Three samples were collected in each area and depth for analysis of macro-nutrients, organic matter and soil pH. After collecting the samples were cataloged and sent to an accredited laboratory for analysis. Soil density showed no critical values in any of the areas studied, the total porosity was close to the ideal values considered in the literature ranging from 40 to 60% for all areas and depths. The mechanical strength of the soil did not vary significantly between areas cultivated with beans and forest area, these areas showed higher values than those considered critical (2.0 Mpa) only in the layer of 15-30 cm. The pasture (Pt) area was the only present above the critical values in all layers evaluated. The aggregate stability indices were higher in areas bean 2 (F2), forest (Ft) and Pt demonstrating the influence of organic matter and roots of grasses in the formation and stabilization of aggregates. Infiltration and hydraulic conductivity at different voltages applied to the tension infiltrometer were the physical parameters that showed greater difference between the forms of management, demonstrating that the area bean 1 (F1) structure has degraded due to destruction of macropores, which are responsible for most of circulation of water and air into the soil. Generally it is observed that the area F2 to have suffered burns in a stage of time more recent than the other areas showed better chemical conditions, upper and/or similar to the forest area, with elevation of pH, organic matter, P, CTC and base saturation. The area F1 in comparison with other areas had lower chemical indicators, especially the pH, organic matter content and base saturation, which arrived in the present differences of about 50% in the values of the other areas cultivated with beans. Regeneration time (F2) was not sufficient to alter the physical parameters, but the mowing and burning of vegetation accelerated the release of soil nutrients contributing to the improvement of soil chemical conditions. The conclusion is thus that the shape of soil tillage has a greater effect on the chemical than the time (age) of handling, since the area bean 3 (F3) chemical conditions presented above the area F1 which is being managed for a period of 10 years, or 20 years difference in time between the two management areas. We also conclude that the watershed of the Palmeirinha stream land use for pasture has caused greater soil physical degradation compared with the areas cultivated with beans, which can compromise the environmental quality of the basin, since the pastures occupy more than 50% of its total area.

Keywords: measurement, soil properties, environmental quality

INTRODUÇÃO

No estudo dos processos geomorfológicos a vertente se torna de suma importância por ser um sistema de relevo onde os processos hidrológicos, geomorfológicos e pedológicos podem ser analisados em detalhe. A vertente é entendida como toda superfície terrestre inclinada entre o interflúvio e o fundo do vale, comporta a quase totalidade da superfície continental.

É na vertente também que os materiais, adquirem formas devido à ação dos mais diversos processos, ou seja, é na vertente que os processos geomorfológicos se materializam. Além dos processos intrínsecos à vertente, é nela também que o ser humano se apropria do ambiente de forma mais direta, através do uso do solo.

Dentre os componentes da vertente o solo talvez seja o de maior importância para o ser humano, por sua dependência, já que, é sobre ele que o homem habita e também sobre ele cultiva boa parte de seus alimentos.

Reichardt & Timm (2012) definem o solo como sendo a camada externa e agricultável da superfície terrestre, originado pela ação de processos físicos, químicos e biológicos de desintegração, decomposição e recombinação, tendo como fatores de sua formação: o material originário, o tempo (idade), o clima, o relevo (topografia) e os organismos vivos.

Por ser um dos grandes produtores agrícolas mundiais o Brasil apresenta grande relação com o solo. Entre os produtos no qual o Brasil se destaca estão: a soja, o milho, o feijão, o café e a cana-de-açúcar, entre outros. Sendo que do feijão o Brasil é o maior produtor e consumidor mundial.

Segundo a CONAB (2011) na safra 2010/11 foi produzido no Brasil cerca de 3,8 milhões de toneladas de feijão, sendo o Paraná o maior estado produtor com 821,2 mil toneladas, quase 22% do total nacional. Entre as principais cidades produtoras de feijão no estado estão: Castro, Prudentópolis, Reserva, Irati e São Mateus do Sul.

Apesar de ser um dos principais produtos agrícolas, devido ao preço pouco atrativo e constantes oscilações de mercado, o feijão é produzido quase que essencialmente por pequenos e médios agricultores. Este fato faz com que em muitos casos sejam utilizadas áreas às vezes com baixa aptidão para a produção (fundos de vale e encostas com alta declividade, solos de baixa aptidão), ou formas inadequadas de manejo, que reduzem a produtividade e geram diversos problemas ambientais.

Segundo FAO (2007) a produtividade mundial de feijão nos últimos 15 anos foi de cerca de 600 kg/ha, muito abaixo da produtividade potencial que segundo FNP (2007) é de 3500 kg/ha. No município de Reserva a produtividade média é quase três vezes superior à média mundial chegando a 1700 kg/ha (IBGE, 2006), mesmo com esta produtividade elevada, em algumas regiões do município este índice se aproxima dos 800 kg/ha. Entre as áreas de baixa produtividade encontra-se a bacia hidrográfica do Arroio Palmeirinha, formada em quase totalidade por pequenos agricultores que utilizam o sistema convencional de manejo.

Assim, observando a intensa utilização dos solos da bacia do Arroio Palmeirinha, e a dependência econômica da população local e do município de Reserva em relação à produção agrícola, este trabalho tem por objetivo avaliar as influências do uso na degradação dos solos sob diferentes sistemas de manejo com destaque aos solos cultivados com feijão preto (*Phaseolus vulgaris L.*). Para que se atinja tal objetivo serão mensurados (objetivos específicos) os parâmetros físico-hídricos e químicos do solo em diferentes usos da terra.

Com os resultados a serem obtidos, espera-se contribuir para um melhor entendimento das relações solo-produção agrícola dentro do sistema ambiental com ênfase na bacia hidrográfica do Arroio Palmeirinha, além de corroborar na conservação dos solos e da água no âmbito das propriedades agrícolas de produção familiar ou em solos de baixa aptidão agrícola.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta unidade apresentam-se alguns dos principais conceitos e temas relacionados a este trabalho como: manejo do solo, física dos solos (densidade, porosidade, estabilidade de agregados, resistência à penetração e infiltração da água) e química dos solos.

1.1 Manejo do solo

Desde que o homem dominou a técnica de cultivar seu próprio alimento ele necessita manejar o solo e busca diferentes formas para melhorar este processo. De acordo com Embrapa (2003)

O manejo do solo se constitui de práticas simples e indispensáveis ao bom desenvolvimento das culturas e compreende um conjunto de técnicas que, utilizadas racionalmente, proporcionam alta produtividade, mas, se mal utilizadas, podem levar à destruição dos solos em curto prazo.

Dentre as formas de manejo, duas são as principais: o plantio convencional e o plantio direto.

O plantio convencional é caracterizado pelo revolvimento da camada superficial do solo com o uso de equipamentos como o arado e a grade. O plantio direto busca o não revolvimento do solo com plantio sobre os restos culturais do cultivo anterior.

O plantio direto tem sido mais aplicado atualmente por não revolver o solo e contribuir no aumento da matéria orgânica, auxiliando assim na melhora da qualidade ambiental do solo. Mas por requerer maior nível de mecanização este sistema ainda é restrito aos grandes produtores e a áreas com relevo menos dissecado.

Os pequenos produtores fazem uso do plantio convencional que por revolver o solo acaba por destruir sua estrutura gerando maior degradação do solo e perda de nutrientes afetando assim a produtividade das culturas.

Por utilizarem áreas de elevada declividade para plantio os pequenos agricultores fazem uso do fogo para limpeza da área numa prática conhecida como agricultura de toco (roça), o qual segundo Bonilla (2005) ocasiona a quebra dos ciclos biogeoquímicos, com liberação de nutrientes imobilizados na biomassa florestal e emissão de partículas e gases para a atmosfera. A queima ocasiona o desaparecimento da serrapilheira e aumento do pH devido às cinzas, favorecendo a taxa de troca de

cátions e aumento dos teores de fósforo (P), potássio (K) e magnésio (Mg) (FARIA et al., 2010). Entretanto esse acréscimo de nutrientes não tem efeito duradouro e em alguns anos há a tendência a redução da fertilidade dos solos.

Nos tópicos referentes às propriedades físicas e químicas do solo são melhor caracterizados os efeitos do manejo sobre estas.

1.2 Física de solos

A atividade agrícola com ênfase na monocultura tem sido fator de aceleração da degradação do solo. Deste modo, há necessidade de métodos de conservação e manejo adequado do solo para que evite ou no mínimo reduza os efeitos degradantes no solo (ALVES et al., 2007).

Neste contexto a física de solo vem contribuir na avaliação e manutenção da qualidade ambiental dos solos, já que,

a física de solos estuda e define, qualitativa e quantitativamente, as propriedades físicas, bem como sua medição, predição e controle, com o objetivo principal de entender os mecanismos que governam a funcionalidade dos solos e seu papel na biosfera. A importância prática de se entender o comportamento físico do solo está associada ao seu uso e manejo apropriado, ou seja, orientar irrigação, drenagem, preparo e conservação de solo e água (REINERT & REICHERT 2006, p.1).

Ainda de acordo com Reinert & Reichert (2006) os atributos físicos hierarquicamente mais importantes no estudo dos solos são textura e estrutura. A textura demonstra o tamanho das partículas minerais que formam o solo, já a estrutura representa como estas partículas se organizam formando os agregados, além de definir a geometria dos espaços porosos (REICHARDT & TIMM, 2012, p.22). Em conjunto, estas características podem influenciar nos teores de água e ar presentes no interior do solo e no crescimento de vegetais, além de influenciarem outras qualidades físicas como: densidade e porosidade do solo.

Estas características têm grande influência na erodibilidade dos solos, que é a capacidade do solo em resistir à erosão, pois partículas como areia resistem ao transporte e solos de textura fina como os argilosos suportam a desagregação devida sua estrutura. Tendo os solos com alto percentual de areia fina ou silte, as maiores susceptibilidades aos processos erosivos.

A textura de um solo não sofre alterações em um curto espaço de tempo diferentemente da estrutura que pode sofrer modificações ocasionadas pelas práticas de

uso e manejo do solo. Por apresentar rápidas modificações tanto no tempo como no espaço, a estrutura do solo vem sendo alvo de diversas pesquisas e utilizada como indicador da qualidade ambiental do solo.

Dexter & Youngs (1992) argumentam que a quantificação e a compreensão das alterações físicas do solo devidas ao seu uso e manejo são fundamentais para o estabelecimento de sistemas agrícolas sustentáveis. Entre as propriedades físicas úteis na avaliação da qualidade física dos solos estão: estabilidade, porosidade, densidade, resistência mecânica, condutividade hidráulica, distribuição de tamanhos de partículas e densidade de partículas.

Pedrotti e Mélo Jr. (2009) colocam que a degradação física se manifestará pela perda de qualidade da estrutura dos solos, que em consequência afetarão o desenvolvimento das plantas ocasionando redução na produtividade das áreas agrícolas.

Na sequência serão descritas a importância e a influência de algumas das principais propriedades físicas do solo (densidade, porosidade, resistência à penetração, estabilidade de agregados) sobre o uso e manejo deste.

1.2.1 Densidade do solo

Essa característica está associada à estrutura, à densidade de partícula e à porosidade do solo, podendo ser usada como um indicador ambiental de processos de degradação da estrutura do solo, que pode mudar em função do uso e do manejo.

A densidade do solo é definida como sendo a relação existente entre a massa de uma amostra de solo seca a 105° C e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e pelos poros. De maneira geral pode-se afirmar que, quanto mais elevada for a densidade do solo, maior será sua compactação, estrutura degradada, menor sua porosidade total e, conseqüentemente, maiores serão as restrições para o crescimento e desenvolvimento das plantas tornando-se um potencializador do processo erosivo (EMBRAPA, 1997).

Geralmente solos siltosos são os que apresentam as menores densidades, enquanto os solos arenosos apresentam as maiores (BUENO & VILAR, 1998). Reichardt e Timm (2012) colocam que solos de textura grosseira possuem densidades variando entre 1,4 e 1,8 g/cm³; enquanto que em solos de textura fina estes valores variam de 0,9 a 1,6 g/cm³.

Os valores de densidade nos solos podem ser extremamente variáveis. Pode-se ter em solos de mesma textura, densidades diferenciadas no perfil. A densidade tende a aumentar com a profundidade, variando em função de diversos fatores, como teor reduzido de matéria orgânica, menor agregação, diminuição da porosidade do solo, dentre outros fatores (BICALHO, 2011).

Os solos agrícolas apresentam grande amplitude de densidade em função de suas características mineralógicas, de textura e de teor de matéria orgânica. Essa variação da densidade, em função de propriedades intrínsecas do solo, dificulta a sua utilização para quantificar o grau de compactação do solo (BRADY & WEIL, 2008)

Os solos, mesmo aqueles considerados homogêneos, exibem alguma variabilidade espacial e temporal em seus atributos físicos, químicos e biológicos. A definição dessa variabilidade é muito importante para um eficiente manejo do solo (SILVA et al., 2003; AMARO FILHO et al., 2007).

Bertol et al. (2004), verificaram que a densidade do solo em sistemas de semeadura direta foram maiores que no preparo convencional, devido a pressão exercida pelo trânsito de máquinas e pessoas, além da consolidação do solo por ausência de revolvimento durante o manejo.

1.2.2 Porosidade

A porosidade representa o espaço vazio existente no interior do solo, e afeta diretamente nos teores de água e ar do solo. Segundo Ribeiro et al. (2007), a porosidade do solo é determinada pela forma como as partículas se arranjam, quando há o contato íntimo destas a porosidade é baixa, já quando as partículas se arranjam em agregados a porosidade é elevada.

Os poros do solo são classificados em três categorias (Quadro 01) de acordo com seu diâmetro (KOOEVAAR 1983 adaptado de LIBARDI, 2005).

QUADRO 01. Categorias de poros do solo.

Macroporos	Poros com diâmetro maior que 100 μm . Principal função e de aeração do solo e condução de água durante o processo de infiltração.
Mesoporos	Poros com diâmetro entre 30 e 100 μm . Sua principal função é a condução da água durante o processo de redistribuição, após se esvaziarem os macroporos.
Microporos	Poros com diâmetro menor que 30 μm . São também chamados de poros capilares e atuam no armazenamento da água.

Othmer et al. (1991), diferenciam os poros em dois grupos de acordo com sua formação sendo: os poros inter-agregados e os poros intra-agregados. Os poros inter-

agregados incluem os macro e mesoporos e tem como função básica a aeração das raízes das plantas e a condução da água de drenagem do solo. Os poros intra-agregados correspondem aos microporos do solo e caracterizam-se por se esvaziarem mais lentamente, proporcionando uma condução de água pelo solo também mais lenta.

A ação de animais como minhocas e cupins (fauna endopodônica) e o crescimento de raízes formam poros de tamanho grande, chamados de bioporos. De acordo com Dirksen (1991) estes poros são preenchidos completamente na saturação dominando o transporte de água.

A porosidade está inversamente relacionada à densidade do solo, ou seja, com aumento da densidade, ocorrem a redução da porosidade total, principalmente dos macroporos, responsáveis pela aeração e fluxo gravitacional da água. Megda et al. (2008), expõe que quando a macroporosidade apresenta valores abaixo de $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^3$ o crescimento de raízes é prejudicado. Além disso, com aumento da densidade ocorre a elevação da pressão sobre os microporos que armazenam água, tornando esta indisponível às plantas.

Além de afetar os teores de água e ar no solo, a porosidade tem grande influência sobre a fertilidade dos solos, já que, de acordo com Letey (1985) a presença de uma rede ideal de poros no solo, afeta as relações entre drenagem, absorção de nutrientes, penetração de raízes, aeração e temperatura, relacionando-se diretamente com o desenvolvimento e produtividade das culturas.

E assim como a densidade, a porosidade total também varia de acordo com a textura dos solos, solos arenosos possuem entre 35 e 50% de poros, enquanto solos argilosos têm porosidade variando entre 40 e 60%.

Diversos autores (VIEIRA, 1981; VIEIRA & MUZILLI, 1984; CORRÊA, 1985; DERPSCH et al., 1991; STONE & SILVEIRA, 2001) verificaram a influência do manejo do solo sobre a porosidade. Em plantio direto os solos apresentam maiores valores de densidade e microporosidade, e menores valores de macroporosidade e porosidade total nos primeiros anos de cultivo, devido ao arranjo natural do solo, e da pressão provocada pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas, conforme ocorre o aumento de matéria orgânica e a reestruturação do solo a porosidade total e macroporosidade tendem a aumentar e a densidade e microporosidade reduzir.

No sistema de plantio convencional os parâmetros físicos apresentam dinâmica inversa, com baixa densidade e elevada porosidade nos primeiros anos de manejo, devido ao revolvimento do solo, com posterior aumento da densidade e redução na

porosidade, principalmente pela destruição da estrutura do solo e perda de matéria orgânica.

1.2.3 Resistência à penetração

A compactação do solo é caracterizada pela redução do volume do solo quando uma pressão externa é aplicada, induzindo ao aumento da densidade, diminuição da porosidade e alteração na distribuição de poros.

A compactação, além de ser um impedimento mecânico ao crescimento radicular, afeta os processos de aeração, condutividade ao ar, à água e ao calor, infiltração e redistribuição da água, além dos processos químicos e biológicos (CAMARGO & ALLEONI, 1997).

Para a qualidade física, a resistência do solo à penetração é considerada a propriedade mais adequada para expressar o grau de compactação do solo e, conseqüentemente, a facilidade de penetração das raízes (SILVEIRA et al., 2010).

A resistência está relacionada à densidade e umidade do solo, variando diretamente com a densidade e inversamente a umidade do solo (BUSSCHER et al., 1997). Merotto Jr. & Mundstock (1999) observaram aumento exponencial da resistência do solo à penetração, com a elevação da densidade do solo.

Segundo Pedrotti et al. (2001), a resistência à penetração serve para descrever a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele.

O monitoramento periódico do estado de compactação do solo por meio da resistência à penetração é uma forma prática de avaliação dos efeitos dos diferentes sistemas de manejo na estrutura do solo e no crescimento radicular das diferentes culturas (TAVARES FILHO & RIBON 2008).

De acordo com Arshad et al. (1996), valores de resistência do solo abaixo de 1,0 Mpa são considerados pequenos, enquanto solos com resistência à penetração maior que 2,0 Mpa acabam limitando o crescimento de raízes em culturas agrícolas. Já em solos não revolvidos, podem-se aceitar valores de até 4,0 MPa, pela continuidade de poros, atividade biológica intensa e maior estabilidade de agregados.

Blainski et al. (2008), verificaram que a variável conteúdo de água do solo apresentou maior influência sobre a resistência do solo à penetração, principalmente nos solos com estrutura degradada. Em cultivos de milho no sistema plantio direto Tavares

Filho et al. (2001), verificaram maior dependência da resistência à penetração a distribuição estrutural do que da umidade.

Tavares Filho et al. (2001), observaram também que na camada até 15 cm, o plantio direto apresentou valores de resistência superiores ao plantio convencional, na camada de 15 a 35 os sistemas não apresentaram diferença significativa, tendo o plantio convencional apresentado valores superiores ao plantio direto na camada abaixo de 35 cm. Os autores justificam os valores de resistência elevados na camada superficial em plantio direto devido ao tráfego do maquinário pesado utilizado nas épocas de plantio e colheita.

Estudando o efeito do tráfego de um trator em sistema de plantio direto sobre as propriedades físicas do solo, Streck et al. (2004), verificaram que a resistência à penetração foi a propriedade física que melhor evidenciou o efeito do número de tráfego sobre o solo.

1.2.4 Estabilidade de Agregados

A estabilidade de agregados representa a capacidade que as partículas têm de resistir aos processos de desagregação mecânica. De acordo com Lima et al. (2003, p.200), “a formação e estabilização de agregados ocorrem simultaneamente mediante a atuação de processos físicos, químicos e biológicos no solo”.

Entre os parâmetros utilizados para se avaliar a estabilidade de agregados estão o diâmetro médio ponderado (DMP), o diâmetro médio geométrico (DMG) e o índice de estabilidade de agregados (IEA).

O DMP representa a porcentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores; o DMG representa uma estimativa do tamanho da classe de agregados de maior ocorrência; o IEA representa uma medida da agregação total do solo e não considera a distribuição por classes de agregados. Quanto maior a quantidade de agregados < 0,25 mm, menor será o IEA (CASTRO FILHO et al., 1998).

Perusi & Carvalho (2008) avaliaram dois métodos para determinação da estabilidade dos agregados; o peneiramento via seca e via úmida, e observaram, que o teor de matéria orgânica dá maior estabilidade aos agregados submetidos ao peneiramento submerso, o que corrobora com o descrito por Lima et al. (2003), que estudaram a estabilidade de agregados de um Planossolo com diferentes sistemas de manejo e verificaram correlação linear e positiva entre o teor de Carbono orgânico e a

estabilidade dos agregados. Já a argila contribui para a estabilização dos agregados no peneiramento a seco. Perusi & Carvalho (2008) concluíram ainda que estatisticamente os métodos se diferem e devem ser recomendados para objetivos específicos.

Segundo Assis & Bahia (1998), agregados estáveis em água contribuem para melhoria da porosidade, e conseqüentemente, maior infiltração e resistência à erosão. Os agregados não estáveis, quando na superfície, tendem a desaparecer e dispersar-se sob o impacto das gotas de chuva ou são lixiviados se acumulando em horizontes inferiores tornando-os mais densos.

Estudando a variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica, Souza et al. (2004), observaram que solos submetidos ao mesmo sistema de manejo em locais com pequena variação de relevo manifestam variabilidade espacial de atributos.

Sobre as alterações ocasionadas pelas diferentes formas de manejo, Lacerda et al. (2005), observaram que em solos com vegetação nativa o índice de estabilidade de agregados foi 1,17 vezes maior do que em áreas de plantio convencional, além de verificar que a mudança de plantio convencional para semeadura direta favoreceu na estabilidade de agregados. Carpenedo & Mielniczuk (1990) colocam que o plantio direto contribui na agregação por aumentar a matéria orgânica na superfície devido ao acúmulo de resíduos culturais.

As gramíneas perenes, por apresentarem maior densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular no solo, favorecem a formação e estabilidade de agregados, e podem ser usadas como plantas recuperadoras da estrutura do solo em áreas degradadas (SILVA & MIELNICZUK, 1997).

1.2.5 Água do Solo

A água representa fundamental importância nos estudos dos solos, já que, esta influencia desde a formação dos mesmos através do intemperismo químico, até a garantia de desenvolvimento e sobrevivência de plantas e da fauna endopedônica (subterrânea).

A água presente nos solos auxilia também no controle do ar e da temperatura dos mesmos, além de influenciar nos processos hidro-erosivos que acabam por gerar grandes alterações no sistema ambiental.

Ao atingir a superfície do solo a água inicia sua movimentação no interior deste, através do processo de infiltração, que é definido por Libardi (2005, p.209) como “a entrada de água no solo através de sua superfície, isto é, através da interface solo-atmosfera”.

A condutividade hidráulica é um parâmetro atrelado ao processo de infiltração que representa a facilidade com que o solo transmite água. O valor máximo de condutividade hidráulica é atingido quando o solo se encontra saturado, e é denominado de condutividade hidráulica saturada (REICHARDT, 1990).

A capacidade de infiltração de água no solo determina o comportamento dos processos erosivos, tanto em superfície, quanto em subsuperfície, bem como o abastecimento dos lençóis freáticos. Diante disto, fica evidente a importância que os estudos de água no solo representam tanto para a ciência hidrológica quanto geomorfológica.

Após infiltrar, a água é armazenada em poros no interior do solo e movimenta-se através da força da gravidade (macroporos) e da atração capilar (microporos). A força gravitacional transporta a água verticalmente através do perfil do solo e a atração capilar movimenta-a em todas as direções, principalmente para cima (COELHO NETTO, 2007).

A infiltração da água no solo depende de vários fatores, entre eles: características das chuvas, como intensidade e duração. Em chuvas com intensidade superior a capacidade de infiltração do solo, esta água excedente irá gerar o escoamento superficial, e a infiltração será reduzida, já em chuvas de fraca intensidade e longa duração, a taxa de infiltração tende a ser maior, e o escoamento superficial só terá início após a saturação do solo.

Propriedades físicas do solo como textura, umidade, porosidade e densidade, também são fatores que interferem nas taxas de infiltração do solo. Solos de textura mais grosseira tendem a ter taxas de infiltração maior que solos de textura fina como os argilosos. A umidade controla o volume de água que pode ser armazenada no solo, quanto maior a umidade menor a capacidade de infiltração. Porosidade e densidade são fatores inversamente proporcionais, em solos porosos e de baixa densidade, as taxas de infiltração tendem a serem superiores, a solos de baixa porosidade e alta densidade.

A forma da vertente também influencia de modo, que em áreas planas ou onduladas ocorra o predomínio da infiltração com escoamento superficial lento, já áreas declivosas favorecem o escoamento superficial em relação à infiltração (KARMANN, 2003).

A forma de manejo e preparo do solo afeta a infiltração, pois modifica as propriedades e condições da superfície do solo. Quando se faz o preparo do solo, rompe-se a estrutura da camada superficial, ampliando a taxa de infiltração, em contraposição, se este preparo for realizado de forma incorreta ou for removida a cobertura vegetal, a capacidade de infiltração tende a diminuir.

Alves & Cabeda (1999), utilizando chuva simulada avaliaram a infiltração em um podzólico vermelho-escuro sob duas formas de preparo, plantio direto e convencional, e verificaram que a taxa de infiltração foi quase duas vezes maior na área com plantio direto do que na área de preparo convencional.

Duley em 1939, já verificara a influência da cobertura vegetal sobre a infiltração, pois, segundo o autor, solos descobertos apresentaram reduções nas taxas de infiltração em torno de 85% em relação aos solos protegidos com palha. Coelho Netto (2007) coloca que esta redução se dá pela formação de crostas superficiais no solo causado pela ação do efeito splash, que é o impacto das gotas de chuva sobre as partículas do solo. Este impacto rompe os agregados e reorganiza as partículas finas do solo preenchendo os poros causando o selamento superficial deste.

Pelo até então discutido observa-se a intensa relação dos parâmetros físicos do solo com o manejo e produção agrícola, sendo de suma importância para o bom entendimento desta complexa dinâmica.

1.3 Propriedades químicas do solo

O pH do solo representa sua condição ácida (<7), neutra (7) ou alcalina (>7). Solos ideais para cultivo devem apresentar pH entre 6,0 e 6,5. Porém, esta faixa pode ser estendida de 5,5 a 6,8 (RONQUIN, 2010).

De acordo com Tomé Júnior (1997) o pH do solo pode ser classificado em sete grupos distintos (Quadro 02):

No Brasil como é característico em regiões tropicais, os solos agrícolas apresentam média a alta acidez, ou seja, pH abaixo de 5,5, o que ocasiona a baixa produtividade das culturas, além apresentarem alumínio e manganês em níveis tóxicos (VELOSO et al., 1992). Já nos solos alcalinos (pH > 7,0) ocorre uma deficiência na disponibilidade de fósforo por causa da formação de fosfato de cálcio que é insolúvel e não aproveitável para as plantas.

Quadro 02. Classes para acidez do solo

Classe	pH (CaCl₂)
Acidez muito alta	<4,3
Acidez alta	4,4 – 5,0
Acidez média	5,1 – 5,5
Acidez baixa	5,6 – 6,0
Acidez muito baixa	6,1 – 7,0
Neutro	7,0
Alcalino	>7,0

Fonte: TOMÉ JR. (1997).

A matéria orgânica age como condicionador do solo, mediante sua estrutura complexa e longas cadeias de carbono, agregando partículas minerais. Além das estruturas complexas, a maior parte da matéria orgânica do solo é pouco molhável, protegendo os agregados contra o umedecimento e quebra (HÉNIN et al., 1976). Brady (1989) coloca que a matéria orgânica é o principal agente formador de agregados do tipo granular em grumos nos horizontes superficiais, afetando também as características de cor, plasticidade, coesão e retenção de água no solo.

Por ser um elemento de grande influência sobre as características do solo a matéria orgânica vem sendo considerada como um indicador da qualidade ambiental dos solos.

Teores elevados de matéria orgânica resultam no aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo (TESTA et al., 1992; BAYER & MIELNICZUK, 1997), na diminuição da toxidez de Al (SALET, 1994) e na maior disponibilidade de nutrientes, principalmente do N (TEIXEIRA et al., 1994; BURLE et al., 1997), entre outros.

D'Andréa et al. (2002), verificaram correlação significativa entre a estabilidade de agregados e o carbono orgânico (C), corroborando com Perusi & Carvalho (2008) que também verificaram maior estabilidade de agregados submetidos ao peneiramento úmido relacionado aos teores de matéria orgânica.

A CTC é definida como a soma dos cátions trocáveis retidos pelo solo, e é afetada diretamente pela textura do solo, quantidade e tipo de argila, e matéria orgânica (FAGERIA & STONE, 2006).

De acordo com Fageria et al. (1999), a CTC pode ser classificada em cinco grupos: baixa (<10 cmol/kg); moderadamente baixa (10 – 20 cmol/kg); moderadamente alta (20 – 30 cmol/kg); alta (30 – 50 cmol/kg) e muito alta (>50 cmol/kg)

A CTC indica a capacidade relativa do solo em reter cátions adicionados por fertilizantes, normalmente solos com alta CTC apresentarem também elevada capacidade de retenção de água (FAGERIA & STONE, 2006).

Segundo Ronquin (2010), se a CTC do solo está ocupada por cátions essenciais como Ca, Mg e K, pode-se considerar este um solo bom para a nutrição das plantas. Em compensação, se grande parte da CTC estiver ocupada por cátions potencialmente tóxicos como H^+ e Al este será um solo pobre.

A saturação por bases representa a soma das bases trocáveis expressa em porcentagem de capacidade de troca de cátions (RONQUIN, 2010) caracterizada como um bom indicador das qualidades do solo, utilizado até mesmo na nomenclatura de alguns solos, sendo: solos eutróficos com saturação por bases superior a 50% e solos distróficos com saturação abaixo de 50%.

Ainda de acordo com Ronquin (2010 p.10) “a maioria das culturas apresenta boa produtividade quando no solo é obtido saturação por bases entre 50 e 80% e valor de pH entre 6,0 e 6,5.” Fageria et al. (2008), obtiveram produtividade do feijão superior a 3.000 kg/ha em áreas com saturação por bases de 67% e pH médio de 6,5.

Entre os elementos que podem ser tóxicos em teores elevados nos solo, o mais representativo é o alumínio (Al). Segundo Machado (1997), as principais alterações geradas pela toxicidade do Al no solo são: alterações na membrana das células da raiz; inibição da síntese de DNA e da divisão celular; inibição do alongamento celular; alterações na absorção de nutrientes e no balanço nutricional.

A saturação por alumínio no solo é classificada por Osaki (1991) (Quadro 03).

QUADRO 03. Saturação por alumínio (M%) no solo.

M%	Classificação
< 5	Muito baixo (não prejudicial)
5 – 10	Baixo (pouco prejudicial)
10,1 – 20	Médio (medianamente prejudicial)
20,1 – 45	Alto (prejudicial)
> 45	Muito alto (altamente prejudicial)

Fonte: OSAKI, (1991).

A proporção de alumínio no solo será maior quanto maior for o teor em argila caolinítica, uma vez que o alumínio é parte integrante e predominante dessa argila mineral 1:1 (RONQUIN, 2010).

2. MATERIAIS e MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido com atividades em campo, laboratório e gabinete. Em um primeiro momento em gabinete foi realizada a leitura e pesquisa de material bibliográfico para construção do referencial teórico. Realizou-se também a digitalização da carta topográfica referente à área de abrangência da bacia hidrográfica do Arroio Palmeirinha, para posterior mapeamento das áreas de estudo e elaboração das cartas temáticas de hipsometria, declividade e geomorfologia.

As atividades em campo se deram para coleta de amostras indeformadas e deformadas de solo para análise química e física do solo, além da realização dos ensaios de resistência e infiltração da água no solo.

Na sequência das atividades de campo sucederam-se os trabalhos em laboratório e gabinete para avaliação das amostras coletadas e tabulação e análise estatística dos dados obtidos, os quais serão detalhados a seguir.

2.1 Características da Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Arroio Palmeirinha localiza-se à cerca de 20 km no sentido Norte da área urbana do município de Reserva (Figura 01), o qual está inserido na Mesorregião Geográfica Centro Oriental Paranaense e Microrregião Geográfica de Telêmaco Borba. Escolheu-se esta bacia por ser uma área com características representativas dos sistemas agrícolas do município de Reserva.

A bacia esta localizada entre as coordenadas 24°31'28"S e 24°33'21"S de latitude; e longitudes 50°53'50"W e 50°56'16"W (Folha SG.22-X-A-IV-1). Apresenta uma área total de 774 ha. Os canais da bacia hidrográfica do Arroio Palmeirinha indicam um comprimento total de 7,36 km, o que resulta numa densidade de drenagem de 0,95 km/km². Seu canal principal possui 5,05 km de comprimento.

A bacia do Arroio Palmeirinha situa-se na Depressão Periférica da Borda Leste da Bacia do Paraná (ROSS, 2001). Sua altitude varia de 670 à 1020m resultando numa amplitude altimétrica de 350m; sua geologia é caracterizada pelas Formações Teresina, Serra Alta e Irati, pertencentes ao Grupo Passa Dois e pelas Formações Palermo e Rio Bonito, pertencentes ao Grupo Guatá. As referidas formações datam do período Permiano Superior e Médio, da Era Paleozoica entre 230 e 260 milhões de anos. As principais rochas são: os siltitos, argilitos e arenitos (MINEROPAR, 2001).

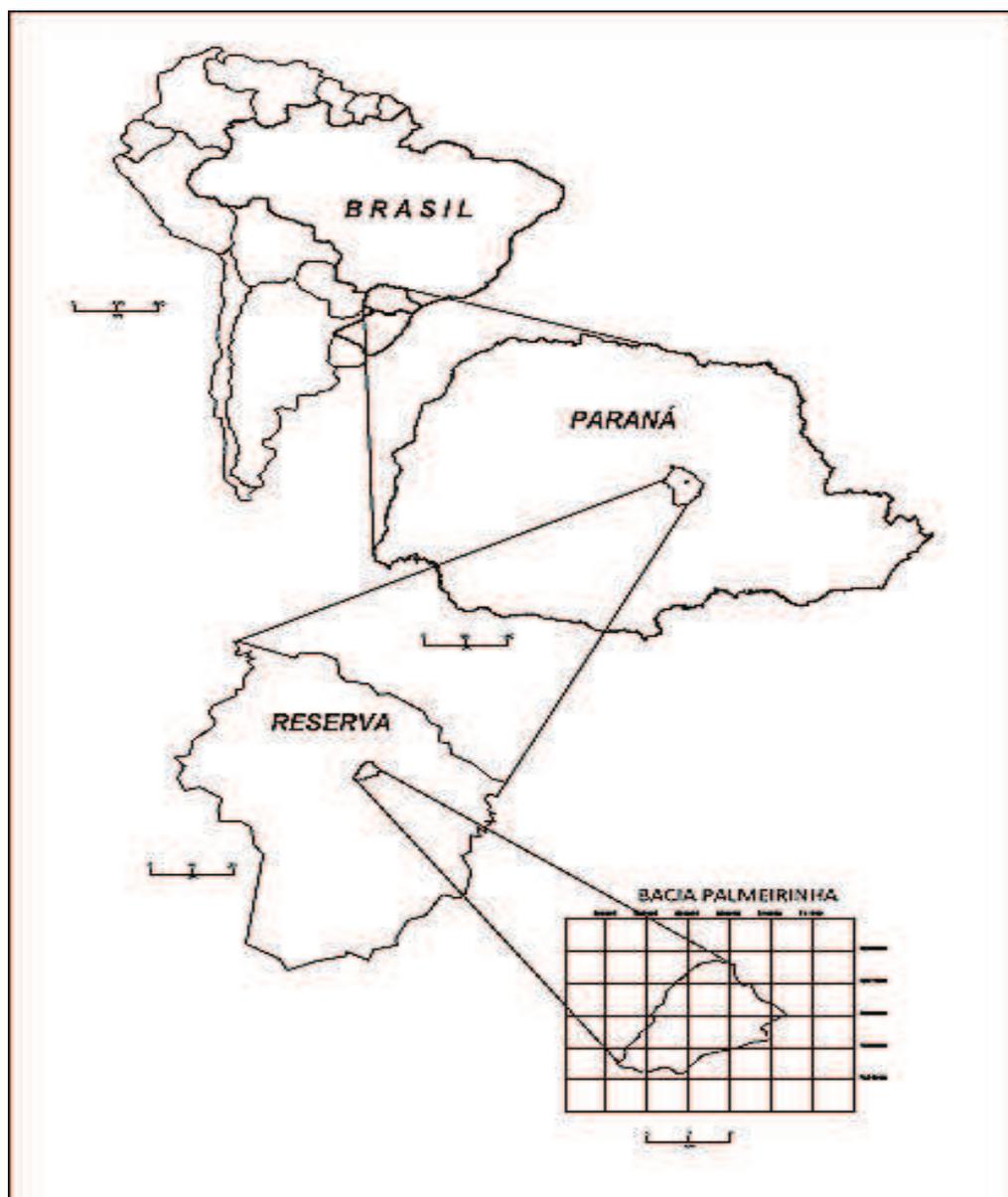


Figura 01. Localização da área de estudo

Geomorfologicamente a bacia hidrográfica do Arroio Palmeirinha divide-se em duas grandes subunidades sendo os Planaltos residuais da Formação Teresina e o Planalto de Ortigueira (Figura 02), pertencentes à unidade do Planalto de mesetas da depressão periférica da Bacia do Paraná.

A subunidade dos Planaltos Residuais da Formação Teresina representa cerca de 25% da área total da bacia, com 1,99 km² e se caracteriza pela baixa dissecação, topos de morros aplainados, vertentes convexas com vales em “V”, os solos predominantes são os Argissolos com textura argilosa e baixa susceptibilidade à erosão, e tem o uso recomendável com práticas específicas de manejo (SANTOS et al., 2006; MINEROPAR, 2007).

O Planalto de Ortigueira corresponde a 75% da bacia hidrográfica com 5,88 km² de área, apresenta alta dissecação com topo de vertentes alongados e em cristas, vertentes retilíneas e vales também em “V”, há o predomínio de Neossolos litólicos com textura argilosa nas áreas de declividade moderada, nas áreas de baixa declividade ocorrem os Argissolos com textura médio-argilosa. Os Neossolos litólicos apresentam alta susceptibilidade á erosão e movimentos de massa, não sendo recomendados para uso com vias de circulação urbano ou rural e nem implantação de infraestrutura enterrada, já os Argissolos têm susceptibilidade moderada a esses processos, devendo seu uso ser feito com técnicas especiais de manejo (SANTOS et al., 2006; MINEROPAR, 2007).

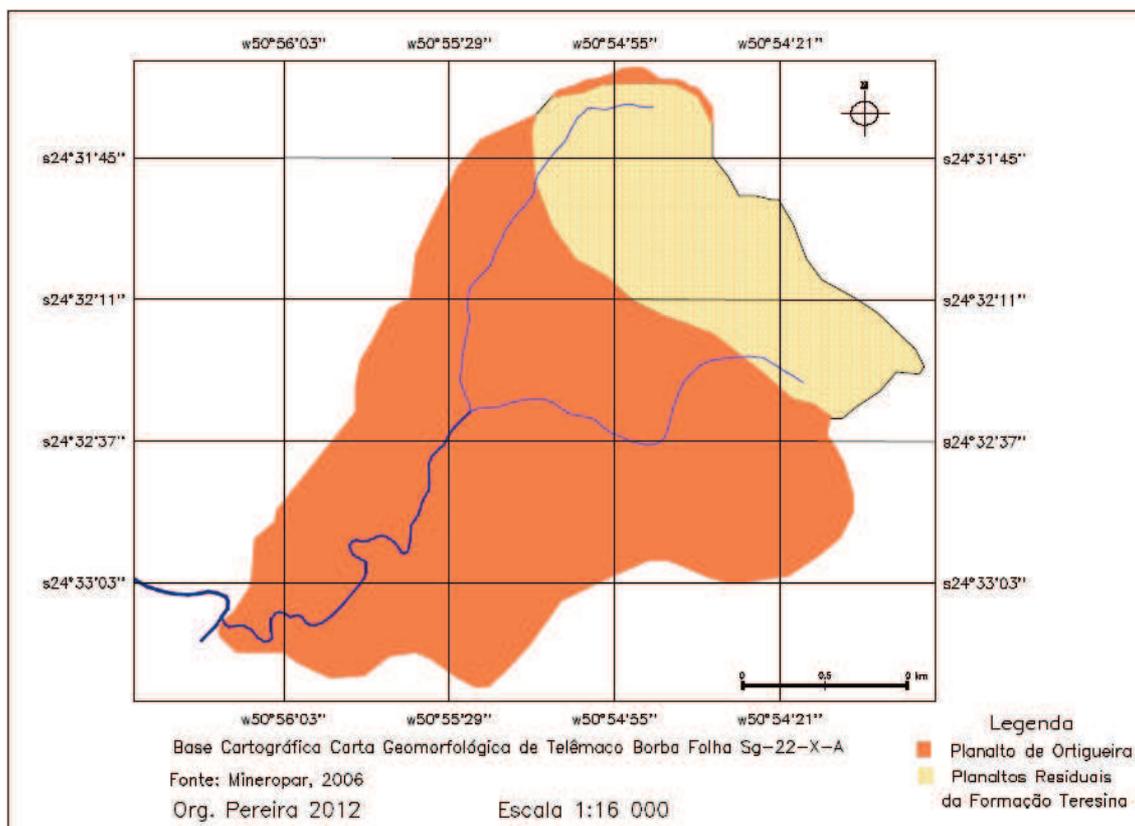


FIGURA 02. Carta Geomorfológica da Bacia do Arroio Palmeirinha

Utilizando a classificação climática de Köppen, o município de Reserva e em consequência a bacia do Arroio Palmeirinha, apresenta clima Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfb), com verões frescos, geadas severas no inverno, sem estação seca, sendo que as temperaturas dos meses mais quentes são inferiores a 22° C e dos meses mais frios inferiores a 18° C (ITCG, 2008).

De modo geral o manejo na bacia se dá de forma tradicional (Figura 03), sendo que na maior parte das áreas agrícolas se realiza uma aração e duas gradagens. Na bacia

do Arroio Palmeirinha destacam-se a produção de milho e feijão preto, além da pecuária extensiva. Nos últimos anos vem ganhando força o cultivo de eucalipto.



Figura 03. Plantio de feijão com plantadeira à tração animal, área F1.

Fonte: Autor

Foram escolhidas cinco áreas para a realização deste estudo, sendo: três áreas cultivadas com feijão; uma com pastagem; e uma com floresta, as áreas são mais bem descritas de acordo com o uso e manejo no quadro 04. Os solos destas áreas foram classificados como Argissolos textura média com $44\% \pm 2$ de areia, $22\% \pm 3$ de silte e $34\% \pm 3\%$ de argila.

Quadro 04. Características de manejo nas áreas estudadas.

Área	Tamanho (ha)	Características de manejo
Feijão 1 (F1)	2	Terço inferior de vertente retilínea. 10 anos de cultivo com rotação entre feijão e milho, manejo tradicional, uma aração e duas gradagens com máquinas à tração animal para plantio em linha e colheita manual. Declividade variando entre 6° e 12° .
Feijão 2 (F2)	1	Terço superior de vertente côncava. Primeiro cultivo após 2 anos de regeneração. Limpeza da área com utilização de queima. Declividade entre 20° e 30° . Manejo tradicional com capina, plantio com matraca e colheita manual.
Feijão 3 (F3)	5	Terço médio inferior de vertente côncavo-convexa. 30 anos de cultivo com rotação milho e feijão. Manejo mecanizado para plantio em linha, e colheita manual. Declividade entre 6° e 12° .
Pastagem (Pt)	3	Terço médio vertente côncavo-retilínea. Utilizada há 10 anos como pastagem, lotação variando entre 1 e 2 animais por hectare. Declividade entre 0° e 6° .
Floresta (Ft)	2	Terço médio de vertente côncavo-convexa. Área caracterizada pelos moradores locais como capoeirão, sem dados de alteração. Declividade entre 6° e 12° .

Escolheram-se áreas cultivadas com feijão, por ser esta uma das principais espécies cultivadas no município, com produção de cerca de 28.200 toneladas, tornando-o o terceiro maior produtor do estado do Paraná e o décimo maior do país, com participação de 0,73% do total nacional (SALVADOR, 2011).

A área de floresta foi utilizada como área controle, por se considerar que os solos sob floresta apresentam melhor qualidade ambiental (BRADY & WEIL, 2008).

2.2 Mapeamento da área de estudo

Para desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o *software* Spring 5.1.8 desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Dpi/INPE).

Com o uso do Spring foi digitalizada a carta topográfica folha SG.22-X-A-IV-1 do município de Reserva, gerada pelo ministério do exército e disponibilizada pelo Instituto de Terras Cartografia e Geociências do Paraná (ITCG).

Após a digitalização da carta topográfica foram geradas as grades retangulares e triangulares com bases nas curvas de nível da bacia hidrográfica, as quais deram suporte para confecção das cartas de hipsometria e declividade.

Devido à amplitude altimétrica total da bacia do Arroio Palmeirinha ser de 350 metros, para geração da carta de hipsometria foram criados nove classes de altitude, cada qual com 40 metros de amplitude, as quais são: 660-700; 700-740; 740-780; 780-820; 820-860; 860-900; 900-940; 980-1020.

Já para a carta de declividade foram criadas cinco classes com diferentes graus de declive, sendo: 0-6°; 6,01-12°; 12,01-20°; 20,01-30° e maior de 30°. As cartas foram geradas na escala de 1/16.000 por esta ser a que apresentou melhor ajuste e representatividade.

2.3 Avaliação Física do Solo

Para avaliação dos parâmetros físicos do solo foram coletadas 12 amostras indeformadas do solo em anel volumétrico de 100 cm³ em cada camada de solo (0-5; 5-15; 15-30 cm) em cada área, totalizando 36 amostras por área.

As áreas foram divididas em três compartimentos cada, sendo: alta, média e baixa encosta, em cada compartimento coletaram-se quatro amostras por profundidade.

As amostras foram coletadas entre os meses de dezembro (2012) e janeiro (2013), as plantas encontravam-se em estágio avançado de desenvolvimento próximo ao período de colheita.

Após coleta, as amostras foram levadas ao laboratório de Erosão dos Solos da Unicentro no *campus* CEDETEG, catalogadas, pesadas e secas em estufa em temperatura de 105° C durante 24 horas.

Na sequência são detalhados os procedimentos para avaliação da densidade do solo e de partículas, porosidade total, resistência mecânica à penetração, estabilidade de agregados, infiltração e condutividade hidráulica.

2.3.1 Densidade e Porosidade

A densidade do solo foi estimada utilizando-se a equação 01 descrita por Embrapa (1997).

Equação 01.

onde: Ds: Densidade do solo (g/cm³)

P: Peso da amostra (g)

V: Volume do anel volumétrico (cm³)

O método para determinação da densidade de partículas foi o do balão volumétrico descrito por Jorge (1985), em que, coloca-se 20 g de solo seco em balão volumétrico de 50 ml, com 25 ml de álcool etílico, agita-se e deixa-se em repouso por 24 h, após completa-se o volume do balão volumétrico com álcool, e aplica-se a equação 02.

Equação 02.

Onde: Dp: densidade de partículas (g/cm³)

P: peso da amostra seca (g)

Válcool: Volume de álcool gasto (ml)

Para estimar a porosidade total do solo, utilizou-se a equação 03 também descrita por Embrapa (1997).

Equação 03.

Onde: Pt: Porosidade total (%)

Dp: Densidade de partículas (g/cm³)

Ds: Densidade do solo (g/cm³)

2.3.2 Resistência a Penetração

A avaliação da resistência à penetração foi realizada com a utilização de um penetrômetro de impacto (Figura 04). Foram realizados quinze repetições em cada área, sendo cinco em cada compartimento, até a profundidade de 50 cm.

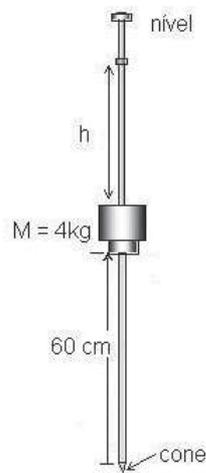


Figura 04. Penetrômetro de impacto

A cada impacto foram registrados os valores do deslocamento x (centímetros), os quais foram convertidos em pressão de penetração ou resistência à penetração (em unidades de MPa), através da equação 04, descrita por Stolf (1991):

Equação 04.

$$RP = \left(\frac{Mgh}{Ax} \right) \left(\frac{M}{M+m} \right) + \frac{(M+m)}{A} g$$

Onde: RP: Resistência mecânica à penetração do solo

h: altura de queda do cilindro de impacto

M: massa do embolo do penetrômetro

m: massa do penetrômetro

A: área da ponta do penetrômetro

x: deslocamento do penetrômetro em cada impacto

g: aceleração da gravidade

A umidade foi mensurada utilizando-se uma sonda TDR em locais próximos de onde ser realizariam os ensaios de resistência mecânica, por ser a umidade uma das variáveis relacionadas à resistência do solo.

2.3.3 Estabilidade de Agregados

A determinação do percentual de agregados foi realizada de acordo com o método de Yoder (1936) descrito por Kiehl (1979). Para isto, foram coletadas quatro amostras em cada nível de profundidade, sendo: 0,0-0,05; 0,05-0,15 e 0,15-0,30m em cada compartimento (alta encosta; média encosta e baixa encosta) de cada área, as amostras de acordo com os pontos e profundidades foram homogeneizadas aos pares, resultando em duas amostras compostas. Escolheu-se este método, por ser até esta profundidade a mais afetada pelas práticas agrícolas e também pela melhor operacionalização do trabalho. Na sequência, as amostras foram levadas ao laboratório de Erosão de Solos da Unicentro, secas ao ar por 72 horas, pesadas e então submetidas ao peneiramento submerso em água para avaliação da estabilidade de agregados.

Antes do peneiramento as amostras passaram por peneira de 8,0 mm. Foram utilizadas peneiras com 15 cm de diâmetro e malhas de 4,0; 2,0; 1,0; 0,5; 0,25; 0,125 mm. Depois de realizado o peneiramento, os agregados foram colocados em beckers numerados e secos em estufa a 105°C durante 24 horas. Após secos, estes passaram por pesagem, para determinação do percentual de agregados.

Realizou-se também a correção do teor de areia, em que os agregados foram passados em peneira de 0,053mm (limite entre areia e silte), já que esta fração não tem propriedades coligativas não afetando a estabilidade dos agregados.

A estimativa do Diâmetro Médio Ponderado de Agregados (DMPA) deu-se aplicando a equação 05, descrita por Youker e Macguines (1956) apud Kiehl (1979).

Equação 05.

$$DMP = \sum (C_{mm} \times P)$$

Onde: DMP: Diâmetro médio ponderado

C_{mm}: Centro de classes de tamanhos dos agregados (mm)

p: Proporção do peso de cada fração de agregados em relação ao peso total da amostra (g).

Para estimativa do Diâmetro Médio Geométrico de Agregados (DMGA) utilizou-se a equação 06, descrita por Castro Filho et al. (1998).

Equação 06.

$$DMG = \exp\left(\frac{\sum PAi \cdot \ln DMCi}{\sum PTAi}\right)$$

Em que: DMG= Diâmetro Médio Geométrico (mm)

$\sum PAi$ = Peso de agregado de cada classe (g)

$\ln DMCi$ = Logaritmo natural do diâmetro médio da classe

$\sum PTAi$ = Peso Total da Amostra (g)

O índice de estabilidade de agregados (IEA) foi estimado utilizando-se a equação 07, descrita por Castro Filho et al. (1998) e adaptado por Perin (2002), citados por Wendling et al. (2005).

Equação 07.

$$IEA = \frac{(Ps - wp_{0,250} - areia)}{(Ps - Areia)} \times 100$$

Onde: IEA: Índice de estabilidade de agregados

Ps: massa da amostra seca (g)

$wp_{0,250}$: é a massa dos agregados da classe <0,105 mm (g).

2.3.4 Infiltração e Condutividade hidráulica

Os ensaios de infiltração foram realizados utilizando-se um infiltrômetro de tensão a disco com diâmetro de 20 cm. Escolheu-se este infiltrômetro por ser “um mecanismo capaz de realizar medições de infiltração de água sob potencial negativo, permitindo o estudo do movimento da água em solos não saturados” (POTT & DE MARIA, 2003).

O infiltrômetro de tensão é composto por um disco medindo 20 cm de diâmetro, uma torre de água com 80cm de altura e 4,45 cm de diâmetro, uma torre de bolha com 50 cm de altura e diâmetro em cerca de 2cm, e uma vareta com 45cm de comprimento responsável pelo controle da tensão aplicada e um tecido de fibra de *nylon* para simular a microporosidade do solo fazendo com que a água movimente-se por capilaridade (Figura 05).



Figura 05. Infiltrômetro de tensão. A) Vareta de tensão; B) Torre de água; C) Torre de bolha; D) Disco de infiltração. **Fonte:** Autor

Foram realizados 18 ensaios em cada área, sendo 9 a 0 (zero) cm de água de tensão e 9 a tensão de -5 cm de água. Optou-se por estes níveis de pressão para avaliação da influência da microporosidade do solo no movimento da água, pois segundo Aoki & Sereno (2005) aplicando-se a equação de capilaridade (equação 08) se pode calcular o raio (r) do poro correspondente a uma determinada tensão de água aplicada.

Equação 08.

$$r = \frac{-2\sigma \cos\alpha}{\rho g h}$$

Onde: r: raio do poro

σ : tensão da água na superfície

$\cos \alpha$: o ângulo de contato entre a água e a parede do poro (utiliza-se o valor de 1, que representa contato perfeito)

ρ : densidade da água

g: gravidade

h: tensão da água no infiltrômetro (mm).

Para se determinar a taxa de infiltração básica, utilizou-se a equação 09 descrita por Pott & De Maria (2003).

Equação 09.

$$VIB = q \times 60 \times \left(\frac{Dt^2}{Db^2} \right)$$

Onde: VIB: Velocidade de infiltração básica (mm/h)

q: fluxo constante de água do infiltrômetro de tensão (mm min⁻¹)

Dt: diâmetro do tubo do infiltrômetro de tensão (mm)

Db: diâmetro da base do infiltrômetro de tensão (mm).

O fluxo de água no solo em três dimensões está relacionado à condutividade hidráulica, e foi estimado através da equação 10, baseada em Wooding (1968).

Equação 10.

$$Q = \pi r^2 k \left(1 + \frac{4}{\pi r \alpha} \right)$$

Onde: Q: fluxo em 3-D (cm³/h)

r: raio do disco (mm)

K: condutividade hidráulica (cm/h)

α: é uma constante dependente da vazão e da tensão aplicada pelo infiltrômetro.

A condutividade hidráulica não saturada foi estimada aplicando-se a equação 11, descrita por Gardner (1958).

Equação 11.

$$K(h) = K_{sat} \exp(\alpha h)$$

Onde: K(h): condutividade hidráulica não saturada (cm/h)

K_{sat}: condutividade hidráulica saturada (cm/h)

h: tensão aplicada pelo infiltrômetro

α: é uma constante dependente da vazão e da tensão aplicada pelo infiltrômetro.

Para obtenção da condutividade hidráulica saturada utilizou-se a equação 12 descrita também por Gardner (1958).

Equação 12.

$$Q(h_n) = \pi r^2 K_{sat} \exp(\alpha h_n) \left(1 + \frac{4}{\pi r \alpha} \right)$$

Onde: Q(h_n) volume do fluxo de água do infiltrômetro sob determinada tensão (cm³/h)

r: raio do disco

h_n: tensão exercida pelo infiltrômetro

K_{sat}: condutividade hidráulica saturada (cm/h)

A constante (α) é uma função logarítmica da razão do volume de água infiltrado em duas diferentes tensões exercidas pelo infiltrômetro dada em cm^{-1} , e pode ser determinada pela equação 13, citada por Gardner (1958).

Equação 13.

$$\alpha = \frac{\ln [Q(h_2)/Q(h_1)]}{h_2 - h_1}$$

Onde: α : constante dependente da vazão e da tensão aplicada pelo infiltrômetro

Q (h): volume do fluxo de água do infiltrômetro sob determinada tensão (cm^3/h)

h_x : tensão aplicada pelo infiltrômetro

2.4 Avaliação Química

Foram cavadas pequenas trincheiras em que foram coletadas nove sub-amostras em cada área e nas profundidades (0-5; 5-15; 15-30 cm), as quais foram homogeneizadas aos trios, formando três amostras compostas de cada área e profundidade para análise de macro-nutrientes, matéria orgânica e pH do solo. Após coleta as amostras foram catalogadas e enviadas a um laboratório credenciado para análise.

2.5 Análise estatística

Utilizou-se o software Bioestat para análise estatística. Em princípio realizou-se a análise de estatística descritiva onde foram estimada a média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose, para avaliação da distribuição de frequência dos dados (normal ou lognormal).

Na sequência os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e empregou-se o teste de Tukey ($P < 5\%$) para comparação de médias.

3. RESULTADOS e DISCUSSÃO

3.1 Relevo e Uso do Solo

Observa-se na bacia do Arroio Palmeirinha que o uso do solo na maior parte das áreas é definido de acordo com as características geomorfológicas. As áreas de elevada declividade e as áreas planas próximas aos canais fluviais são utilizadas para pastoreio e/ou preservação, com as áreas agricultáveis e de reflorestamento (silvicultura) concentrando-se em média vertente com declividade variando entre as classes suave ondulado e ondulado (Figura 06).

Na figura 06 observam-se também as características geomorfológicas que predominam na bacia do Arroio Palmeirinha, tendo os topos de morros aplainados, e elevada declividade entre a média e alta vertente, com baixa declividade da média vertente ao canal fluvial, características que podem ser também visualizadas nas cartas de hipsometria e de declividade (Figuras 07 e 08).



Figura 06. Vista parcial da bacia hidrográfica do Arroio Palmeirinha.
1- Canal Fluvial.

Entre as classes altimétricas avaliadas na bacia do Arroio Palmeirinha a que possui maior percentual individual da área é a classe dos 740 aos 780 metros (Tabela 01), com cerca de 156,65 ha ou 20,18% da área total da bacia, as altitudes superiores a 980 metros correspondem a 0,55% da área da bacia, e as áreas abaixo de 700 m ocupam 2,85% da bacia.

Tabela 01. Área da bacia hidrográfica do Arroio Palmeirinha em cada classe altimétrica.

Altitude (m)	Área (ha)	%
660-700	22	2,85
700-740	71,1	9,16
740-780	156,65	20,18

780-820	136,08	17,53
820-860	115,2	14,85
860-900	136,25	17,55
900-940	86,7	11,17
940-980	47,85	6,16
980-1020	4,2	0,55

Org: Pereira (2012)

Na carta hipsométrica confirma-se que a bacia do Arroio Palmeirinha apresenta o topo dos morros aplainados, o que segundo Mineropar (2006) é característico dos Planaltos residuais da formação Teresina que predominam nas áreas de altitude superior a 820 metros da bacia (Figura 07).

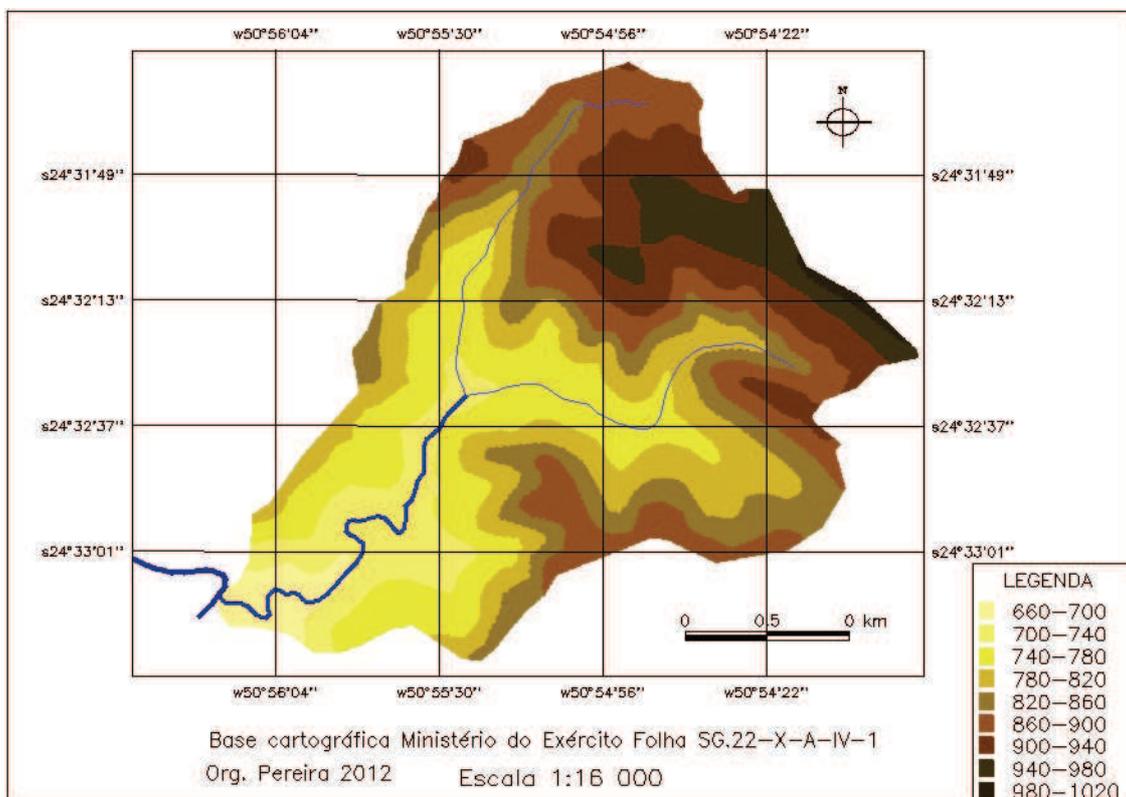


Figura 07. Carta hipsométrica da Bacia do Arroio Palmeirinha

A bacia apresenta 35,85% da sua área com declividade variando entre 12,01° e 20°, as áreas de alta declividade (superior a 30,01°) correspondem a 6,95% da área total da bacia e as áreas de baixa declividade (menor que 6°) correspondem a 10,15% do total (Tabela 02).

Tabela 02. Área da bacia hidrográfica do Arroio Palmeirinha em cada classe de declividade.

	Declividade (graus)	Área (ha)	%
Plano	0 – 6	78,77	10,15
Suave ondulado	6,01 – 12	224,91	29
Ondulado	12,01 – 20	278,22	35,85
Forte ondulado	20,01 – 30	140,2	18,05
Montanhoso	>30,01	53,93	6,95

Org: Pereira (2012)

Observa-se (Figura 08) que as maiores declividades concentram-se nas áreas com altitudes variando entre 780 e 900 metros, esta faixa de altitude representa uma ruptura de declive da bacia, e divisor das formações geomorfológicas, já que as áreas abaixo dos 820 metros de altitudes correspondem à subunidade morfoescultural do planalto de Ortigueira, e a faixa acima dos 820 metros pertence à subunidade dos Planaltos residuais da formação Teresina (Mineropar, 2006).

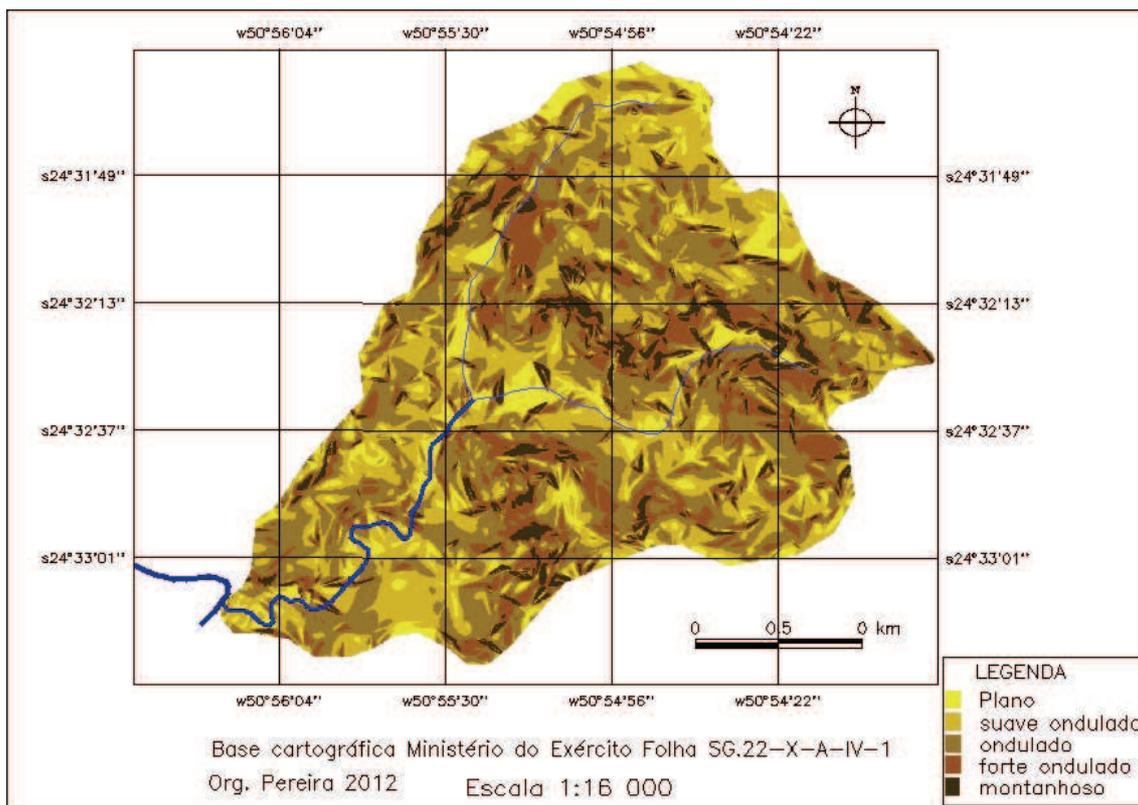


Figura 08. Carta de declividade da Bacia do Arroio Palmeirinha

Essas características morfológicas associadas ao tamanho pequeno das propriedades contribuem para o intenso uso das áreas agrícolas sob sistema convencional de manejo.

Dentre as principais formas de uso na bacia (Figura 09), o manejo com pastagens predomina, ocupando cerca de 54% (420,74 ha) da área total, seguido pelas áreas de floresta e vegetação natural com 18% (144,63 ha), áreas agrícolas com 15% (120,53 ha) e em menor proporção, mas com crescimento nos últimos anos, a silvicultura com 11% (88 ha).

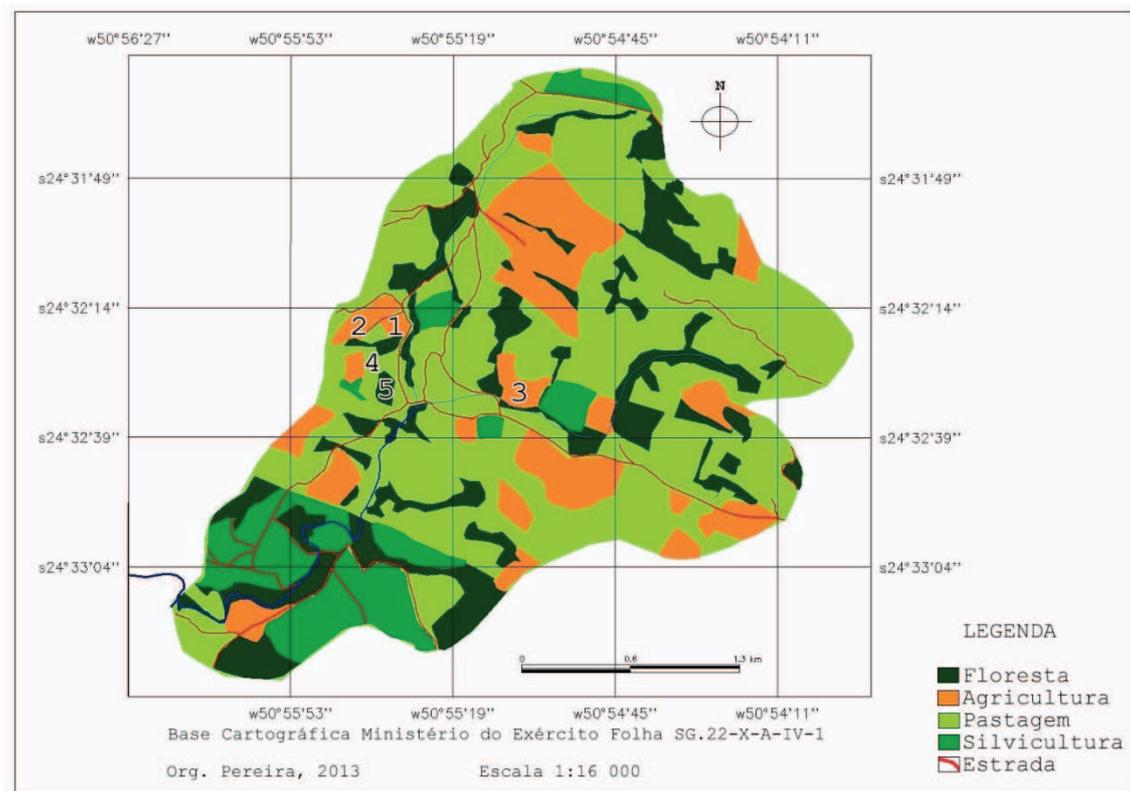


Figura 09. Uso do solo na bacia hidrográfica do Arroio Palmeirinha.
1 – Área de Feijão 1 (F1); 2 – Área de Feijão 2 (F2); 3 – Área de Feijão 3 (F3); 4 – Pastagem (Pt); 5 – Floresta (Ft)

3.2 Física do Solo

3.2.1 Densidade e Porosidade

A densidade do solo demonstra que a área F2 na camada superficial (0-5 cm) apresentou valores semelhantes à floresta, e valores menores que as áreas F1, F3 e Pt. Na camada intermediária (5-15 cm), esta característica demonstra a influência do tempo de regeneração na melhora da qualidade física do solo (Quadro 05).

Apesar disto, a área F2 apresentou maior densidade na camada de 15-30 cm, que se justifica pelas características naturais do solo, já que, esta área apresenta a maior declividade entre as áreas estudadas, e os solos mais rasos, esta área apresentou também vários fragmentos de rocha nas amostras, que por possuírem valores elevados de densidade acabam por elevar a densidade dos solos (PEREIRA et al., 2013).

A área Pt (pastagem) apresentou os maiores valores de densidade nas camadas superficiais, e na camada de 15-30 só teve valor menor que a área F2, estes valores

demonstram que o pastejo de animais na área de estudo vem sendo mais prejudicial ao solo neste parâmetro do que o cultivo de feijão nas áreas F1, F2 e F3.

A menor densidade na camada superficial das áreas F2 e Ft relacionam-se aos maiores teores de matéria orgânica e menor tempo de uso (F2) em relação às demais áreas.

A área F3 apresentou os maiores valores de densidade do solo entre as áreas cultivadas com feijão, demonstrando a influência do tempo de uso e da ação de máquinas na compactação do solo.

Quadro 05. Densidade do solo nas diversas áreas e profundidades.

Da (g/cm ³)					
Prof (cm)	F1	F2	F3	Pt	Ft
5	1.10 ±0.05 B	0.91 ±0.07 A	1.10 ±0.09 B	1.19 ± 0.10 B	0.91 ± 0.10 A
15	1.18 ±0.03 A	1.17 ±0.07 A	1.21 ±0.09 A	1.31 ± 0.07 A	1.09 ± 0.16 A
30	1.26 ±0.03 A	1.44 ±0.04 B	1.33 ±0.01 B	1.36 ± 0.04 B	1.32 ± 0.05 B

média±desvio padrão. F1 – Plantio em linha; F2 – Plantio com matraca; F3 – Plantio em linha mecanizado; Pt – Pastagem; Ft – Floresta. Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente a 5% no teste de Tukey.

Bertol et al (2004), verificaram também maior variação na densidade na camada superior do solo, em relação as camadas inferiores, questão também verificada nas áreas do Arroio Palmeirinha, já que na camada 0-5 cm a diferença entre as áreas chegou a 26%, 17% na camada intermediária e 13% na camada de maior profundidade (15-30cm), confirmando a tendência natural de adensamento do solo.

Thomaz & Diaz (2009) discutem a influência do pastoreio na evolução geomorfológica da paisagem e demonstram que em áreas de pastagem a densidade do solo foi 21% superior em relação às demais áreas sem influência do pastoreio.

Mesmo com a variação nos índices de densidade não se pode considerar que as áreas ultrapassaram valores críticos, já que, existe muita discordância sobre os valores máximos toleráveis para o bom desenvolvimento de plantas e qualidade ambiental. Reinert & Reichert (2006), expõem o valor de 1,45g/cm³ como crítico, Corsini & Ferraudo (1999) colocam valores de 1,27g/cm³, já para Souza et al. (2005), valores de 1,40g/cm³ são aceitos como limite de tolerância para a mesma classe textural dos solos estudados no Arroio Palmeirinha.

Observa-se que as variações ocorreram principalmente na camada superficial de 0-5 cm. Sendo que F2 e Ft não diferiram entre si. Contudo ocorreu diferença entre as áreas F1, F3 e Pt.

Na camada de 5-15 cm os valores não apresentaram diferença estatística, e na camada de 15-30 apenas F1 apresentou valores significativamente diferentes.

Os valores de porosidade total dos solos não apresentaram valores críticos a qualidade ambiental em superfície, tendo variado entre 45% (Pt) e 60% (Ft) (Figura 10).

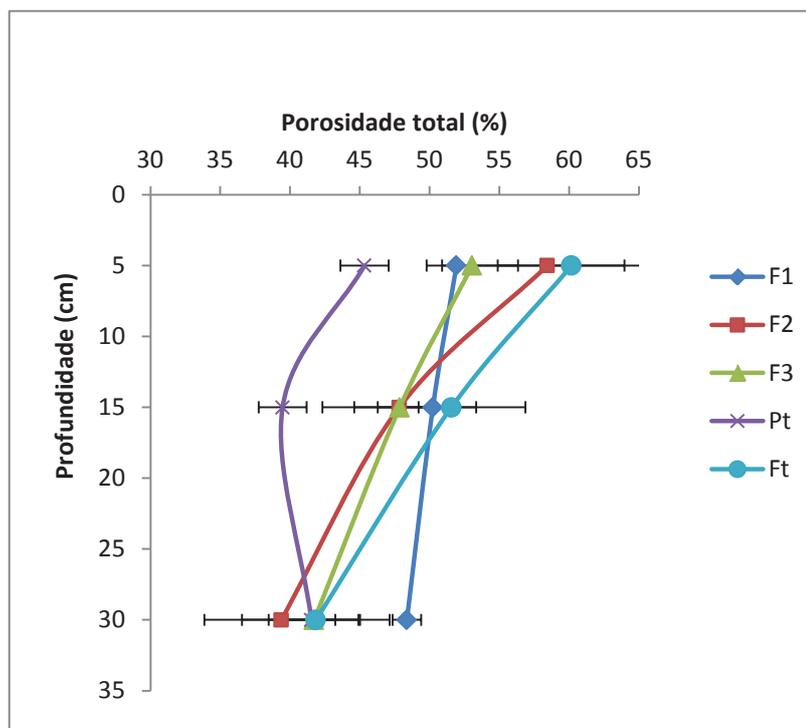


Figura 10. Porosidade total em diferentes usos e manejos do solo. De acordo com a profundidade.

A área F2 apresentou elevada variação entre as três profundidades avaliadas, superior a 32% entre 0-5 e 15-30 cm. Já a área F1 apresentou os menores valores de porosidade na camada superficial, e maiores nas camadas inferiores, comparada as demais áreas manejadas com feijão.

A área F1 apresentou também a menor variação entre camadas, cerca de 6% entre o topo e a camada de 15-30 cm, e apresentou a maior porosidade na camada de 15-30 cm, 13% superior a área Ft e 19% superior à área F2 (menor valor de porosidade total).

Apesar de relacionada a outros parâmetros, Megda et al. (2008), encontraram baixa correlação entre a produtividade do feijão e a porosidade do solo. Vários autores colocam que apenas valores abaixo de 15% de porosidade podem ser críticos ao desenvolvimento de raízes (MEGDA et al., 2008; WUTKE et al., 2000). Desta forma na área estudada a porosidade do solo não apresenta limitação à produção de feijão.

3.2.2 Resistência mecânica à penetração

As diferentes formas de manejo no cultivo do feijão não influenciaram nos valores de resistência à penetração, já que, este atributo não apresentou diferença significativa entre as áreas F1, F2, F3 e Ft nas diversas profundidades, apenas a área Pt apresentou valores elevados, acima dos valores considerados críticos de 2,0 Mpa (ARSHAD et al., 1996; SECCO 2003; LAPEN et al., 2004) para todas as profundidades, sendo que na camada de 15-30 cm, este valor (6,88 Mpa) foi três vezes superior à camada superficial. Nas demais áreas os valores críticos foram encontrados apenas na camada de 15-30 cm (Figura 11).

Os valores de resistência na área Pt não relacionam-se ao teor de umidade da área, já que esta apresentou umidade semelhante as demais áreas cultivadas, em torno de 20%, apenas a área Ft apresentou valor elevado de umidade, próximo à 35%.

Moreira et al. (2005), avaliaram alguns atributos físicos em pastagens degradada e recuperada, afirmam que pastagens mal manejadas resultam em aumento na densidade do solo e na sua resistência à penetração devido ao excesso de carga animal ocasionado por diferentes lotações sobre as pastagens.

Para áreas cultivadas com feijão, Carvalho et al. (2006), não verificaram relação entre a resistência mecânica e a produtividade. O referido autor coloca também que para esta cultura valores entre 1,29 e 2,87 Mpa não restringem sua produtividade.

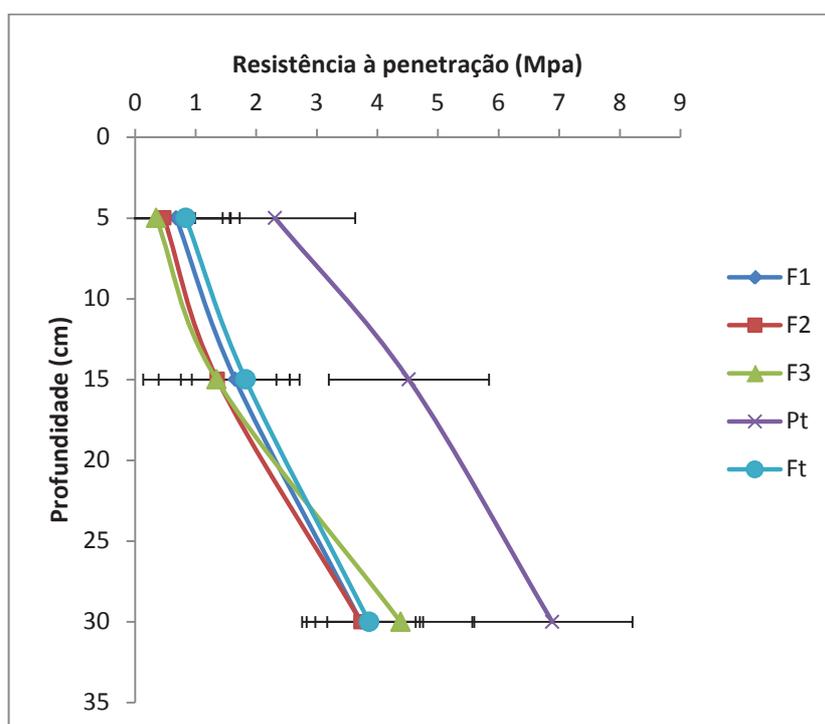


Figura 11. Resistência à penetração nas diversas áreas e profundidades.

3.2.3 Estabilidade de Agregados

A área Ft apresentou os maiores índices de DMP nas três camadas avaliadas. Na camada superficial as áreas F2 e Pt apresentaram valores superiores a 2 mm, demonstrando a predominância de agregados grandes nestas áreas.

Na área F2 esta característica pode estar atrelada ao menor revolvimento do solo em relação as demais áreas cultivadas e maior teor de matéria orgânica, na área Pt estes valores representam a eficácia das raízes das gramíneas na estabilização dos agregados (figura 12). Ao contrário da área F2 as áreas F1 e F3 por apresentarem maior tempo de uso com intenso revolvimento do solo apresentaram os menores valores de DMP na camada superficial.

Na camada de 5-15 a área F2 manteve os valores elevados de DMP, já a área Pt com a redução de raízes apresentou redução de 20% no seu DMP em comparação com a profundidade anterior, a área F3 manteve o índice em torno de 1,6 mm, e a área F1 foi a única a apresentar elevação do seu índice em relação a camada superficial, mas ainda com predomínio dos agregados inferiores a 2 mm. Em todas as áreas o DMP foi inferior a 2 mm na camada inferior de 15-30 cm, com destaque para a área F3 que apresentou índice de 1 mm.

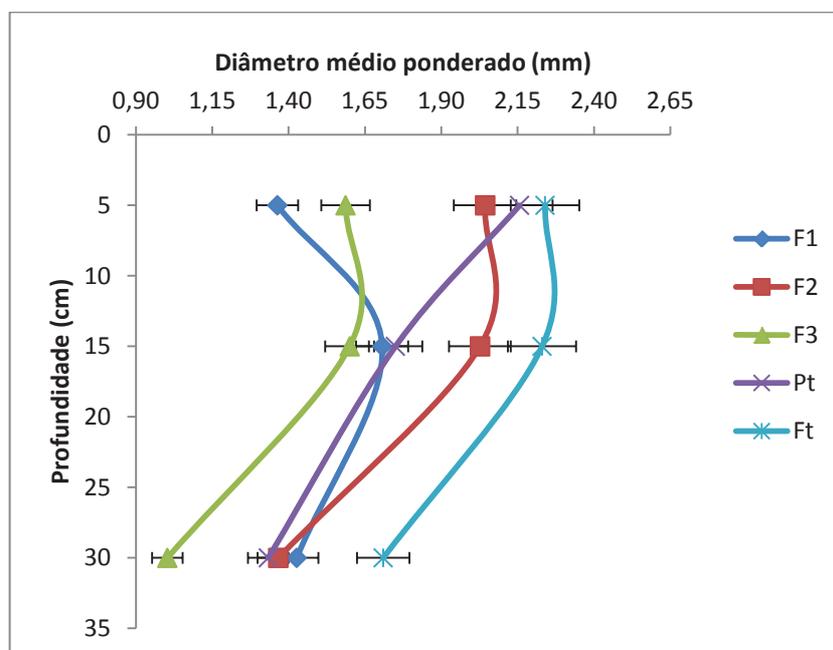


Figura 12. Diâmetro médio ponderado de agregados nas diversas áreas e profundidades.

Observa-se que a área F1 e F3 diferem significativamente em relação às áreas F2, Pt e Ft, na camada superficial de 0-5 cm, as demais áreas não diferem entre si. Na

camada de 5-15 cm as áreas F1, F3 e Pt não diferiram entre si, mas diferiram de F2 e Ft, que diferiram também entre si. Na camada inferior (15-30 cm) as áreas F3 e Ft diferiram das demais áreas, F3 para menos e Ft para mais.

Estes valores corroboram com Perusi & Carvalho (2008) que verificaram decréscimo no DMP na sequência Floresta – Pastagem – Cultura anual, semelhante aos encontrados neste estudo.

Calonego & Rosolem (2008) e Salton et al. (2008), colocam que o revolvimento e o trânsito de máquinas acaba por reduzir o DMP, justificativa que se aplica as áreas F1 e F3, que apresentam maior revolvimento e tempo de uso do solo.

Salton et al. (2008), e Silva & Mielniczuk (1998) confirmam também a influência das gramíneas na formação e estabilização dos agregados devido a ação do seu sistema radicular que liberam os exsudatos orgânicos que possuem função cimentante. Salton et al. (2008), concluíram ainda que para manutenção de valores de DMP iguais ou superiores aos da vegetação nativa é necessária a rotação lavoura-pastagem ou pastagem permanente.

O DMG não apresentou variação entre áreas, nem entre profundidades, demonstrando que os solos das áreas independentemente do seu manejo, tendem a apresentar frequência de agregados com tamanho próximos a 1 mm.

3.2.4 Índice de estabilidade de agregados

O índice de estabilidade de agregados (IEA) foi maior na área Pt nas camadas de 0-5 e 5-15 cm. Na camada de 15-30 cm as áreas Pt, Ft e F1 apresentaram valores semelhantes e superiores as áreas F2 e F3 (Figura 13).

A área F3, única área com manejo mecanizado apresentou os menores valores de IEA nas três camadas estudadas, demonstrando que a mecanização acaba por desestabilizar os agregados. Observa-se que todas as áreas apresentaram aumento no IEA da camada de 0-5 para a camada de 5-15 com posterior redução para a camada de 15-30 cm. A área F3 apresentou também a maior variação entre a camada superficial e a camada mais inferior, ultrapassando 20%, reduzindo de 82 para 63% o IEA.

Oades (1978); Goldberg et al., (1988); Haynes & Beare (1997); e Brady & Weil (2008), colocam que o índice de estabilidade depende de fatores como teor de matéria orgânica, óxidos de ferro e alumínio e presença de raízes de plantas. Características que

podem ser observadas nos solos da bacia do Arroio Palmeirinha, principalmente nas áreas Ft e Pt que apresentaram IEA superiores as demais áreas.

Observa-se que na área de estudo as raízes de gramíneas tem maior influência sobre este índice em relação ao teor de matéria orgânica. Esta maior estabilidade nas gramíneas é explicada por Brady & Weil (2008) segundo estes autores os exsudatos das raízes e microrganismos são resistentes à dissolução em água, favorecendo a manutenção da estabilidade dos agregados.

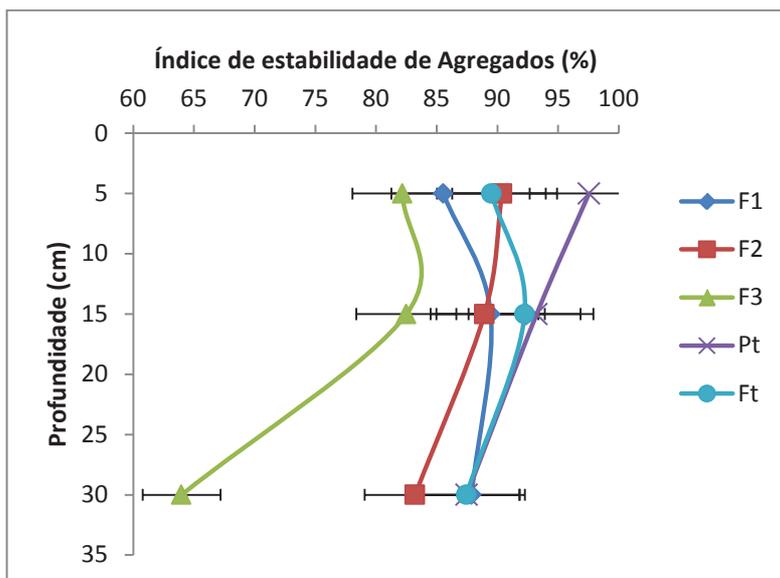


Figura 13. Índice de estabilidade de agregados nas diversas áreas e profundidades.

3.2.5 Infiltração e Condutividade hidráulica

A área Pt apresentou a maior taxa de infiltração inicial, próximo de 9,5 cm/h, sendo também a que apresentou o menor valor de infiltração final após 30 minutos de ensaio, 0,23 cm/h, resultando numa diferença de mais de 41 vezes entre a infiltração inicial e final (Figura 14). Esta dinâmica pode ser observada também a tensão de -5 cm, com a área apresentando a maior infiltração inicial e menor final, chegando a uma diferença de 37 vezes entre ambas.

Esta diferença demonstra a complexa relação entre os parâmetros físicos da área, que no princípio devido à presença de raízes, que interligam os poros tem seu fluxo acelerado, após o atravessamento desta camada superficial, com o aumento da densidade e redução de raízes tem seu fluxo reduzido significativamente.

As áreas cultivadas com feijão apresentaram menor diferença entre as taxa de infiltração inicial e final. Apesar das diferenças na forma de manejo entre as áreas

cultivadas, estas não diferiram significativamente nas taxas de infiltração inicial e final em tensão zero.

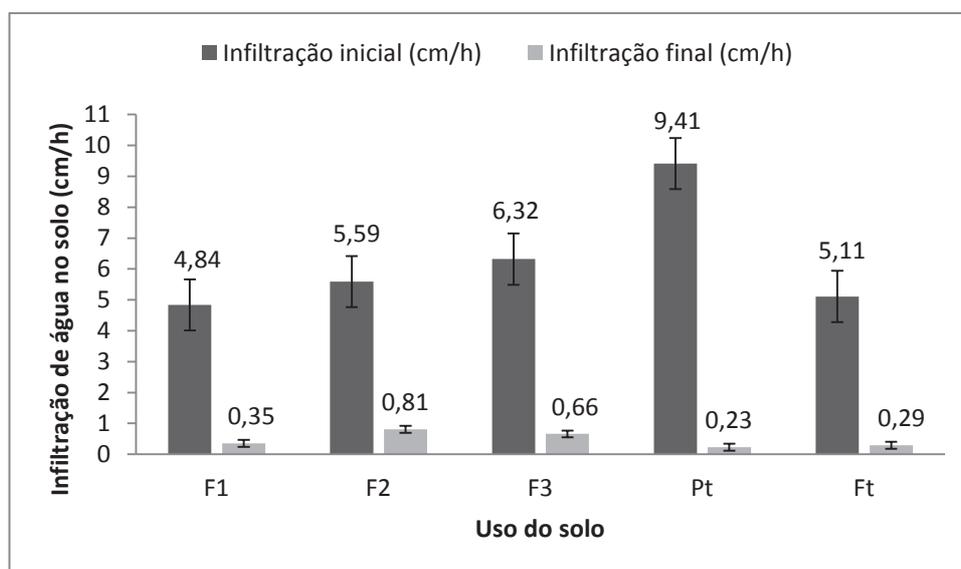


Figura 14. Infiltração inicial e final em tensão zero nas diversas áreas

Os valores iniciais de infiltração em tensão de -5 cm não apresentaram diferenças significativas entre as áreas cultivadas e a Ft, apenas a área Pt diferiu significativamente das demais (Figura 15).

As áreas Pt e Ft por motivos distintos obtiveram os menores valores de infiltração final e diferiram de feijão 1, 2 e 3, Ft pelo teor de umidade (35%), Pt pela maior compactação (quadro 05 e Figura 11).

Assim como observado na infiltração em tensão de zero cm, em tensão de -5 os valores de infiltração não variaram entre as áreas de feijão, apesar do manejo diferenciado e do tempo de uso distinto entre ambas.

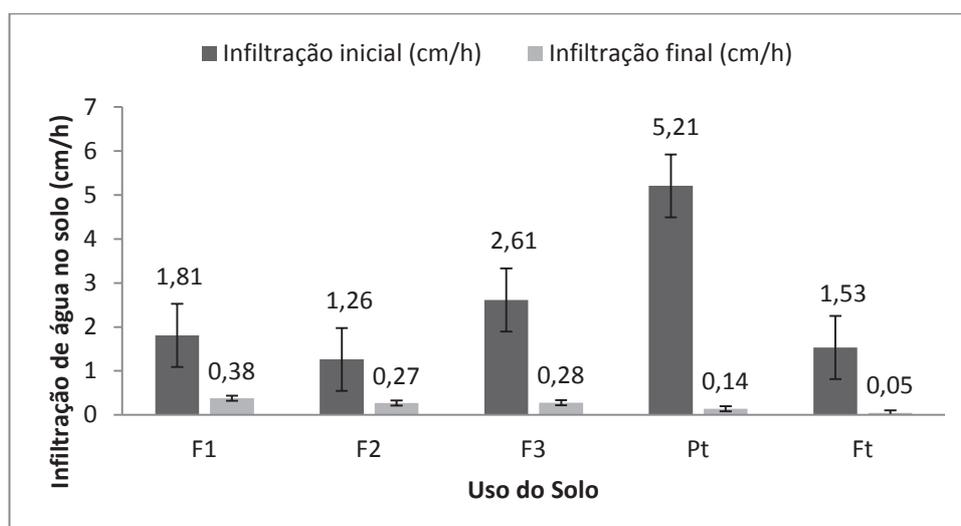


Figura 15. Infiltração de água no solo em tensão -5 nas diversas áreas

Observando os valores acumulados de infiltração nota-se que em tensão de zero cm, as taxas de infiltração inicial correspondem a uma média entre 40 e 50 % do valor total acumulado, já em tensão de -5 cm as taxas iniciais correspondem a menos de 20% da infiltração total. A tensão de zero cm a água tende a fluir por todos os poros, pela predominância de macroporos na camada superficial os primeiros minutos de ensaio apresentam valores elevados de infiltração enquanto que a tensão de -5 cm o fluxo se dá apenas em poros menores que 0,3 mm tornando a infiltração mais lenta, reduzindo a variação nas taxas de infiltração em um mesmo ensaio (Figura 16).

A área Pt apesar de apresentar os maiores valores de infiltração inicial, a tensão de 0 cm não apresentou os maiores valores acumulados. As áreas F2 e Ft apresentaram as maiores variações entre as tensões de 0 e -5 cm, demonstrando melhor qualidade estrutural e maior presença de macroporos no solo.

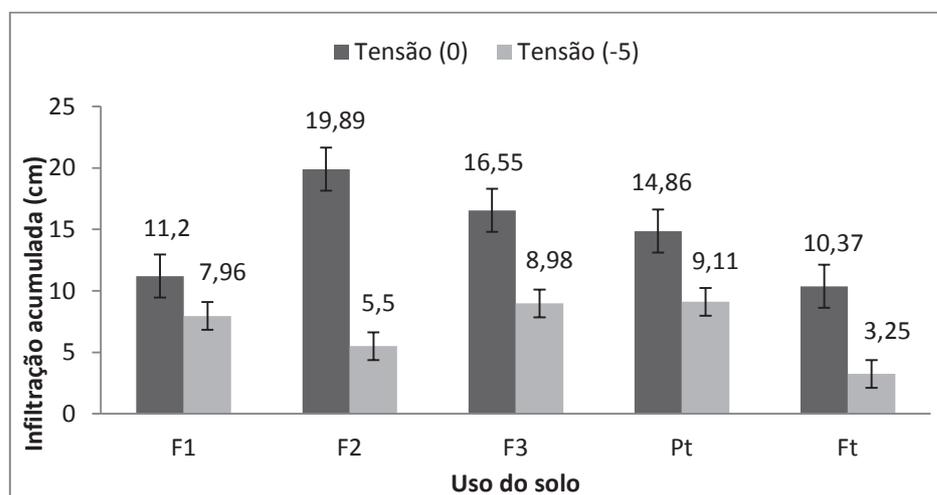


Figura 16. Infiltração acumulada nas diversas áreas em tensão de 0 e -5 cm de água.

A condutividade hidráulica saturada (tensão 0 cm) foi maior na área F2 e menor em F1, em tensão negativa a condutividade foi maior na área F3 e Pt e menor em Ft. Em tensão zero, a área F2 diferiu das demais, as áreas F3 e Pt não diferiram entre si, mas apresentaram diferenças em comparação a F1. Em tensão de -5 cm, F1, F3 e Pt não diferiram significativamente, e as áreas F2 e Ft diferiram entre todas (Figura 17).

Observa-se que a área F1 foi a única a não apresentar diferença entre a condutividade hidráulica saturada (tensão zero cm) e a condutividade hidráulica em tensão de -5 cm, demonstrando que esta apresenta estrutura degradada devido à destruição dos macroporos, que são responsáveis pela maior parte da circulação de água e ar no interior do solo.

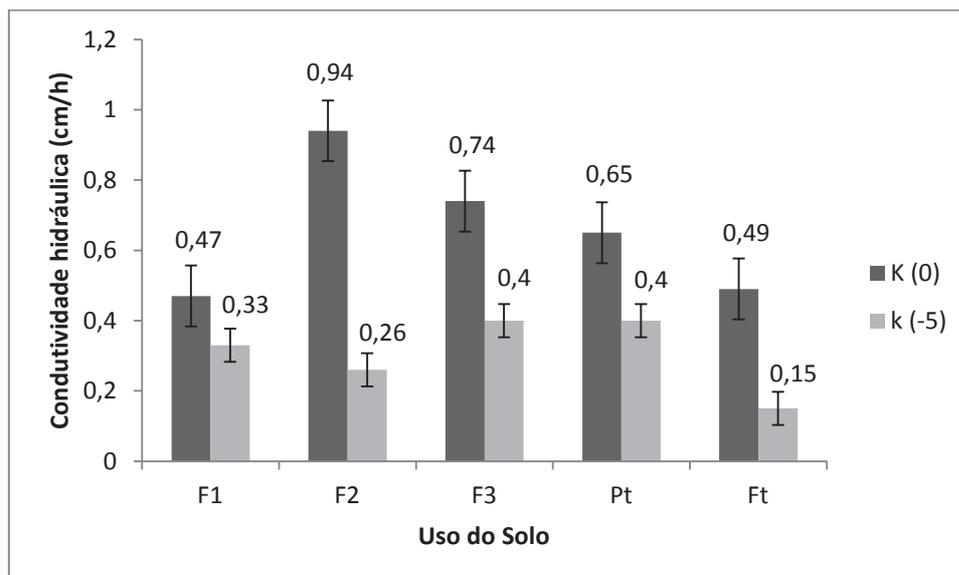


Figura 17. Condutividade hidráulica nas diversas área e tensões aplicadas.

Não se encontrou correlação significativa entre a condutividade hidráulica e as demais propriedades físicas avaliadas. De acordo com Mesquita & Moraes (2004) que estudaram a dependência da condutividade hidráulica em relação a algumas propriedades físicas do solo, esta propriedade depende da forma, quantidade, tamanho e distribuição dos poros, mas não pode ser obtida diretamente através da correlação com os parâmetros físicos usualmente utilizados como densidade, porosidade, macroporosidade ou microporosidade.

3.3 Química do Solo

Os solos das áreas estudadas podem ser caracterizados com acidez alta, especialmente, nas maiores profundidades. Apenas a área F2 na camada de 0-5 cm apresentou acidez baixa, comparada com as demais áreas. Por outro lado a área F1 na camada de 15-30 cm apresentou acidez muito alta (Quadro 06).

Não houve diferença entre a acidez da camada superficial nas diferentes áreas, nas camadas de 5-15 cm e 15-30 cm a área F1 apresentou diferença em relação às demais.

Quadro 06. pH (CaCl₂) do solo nas diversas áreas e profundidades.

Prof (cm)	F1	F2	F3	Pt	Ft
0-5	5,00 ±0,10 A	5,63 ±0,65 A	5,10 ±0,26 A	4,83 ±0,38 A	4,97 ±0,06 A
5-15	4,23 ±0,06 A	5,00 ±0,52 B	4,93 ±0,30 B	4,73 ±0,06 B	4,70 ±0,10 B
15-30	3,93 ±0,06 A	4,65 ±0,64 B	4,57 ±0,42 B	4,53 ±0,06 B	4,63 ±0,15 B

média±desvio padrão. F1 – Plantio em linha; F2 – Plantio com matraca; F3 – Plantio em linha mecanizado; Pt – Pastagem; Ft – Floresta. Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente a 5% no teste de Tukey.

A área F1 apresentou os menores teores de matéria orgânica entre as áreas avaliadas nas três camadas de estudo. Nas camadas de 0-5 cm e 5-15 cm o teor de matéria orgânica variou entre 3 e 4 % em todas as áreas, já na camada de 15-30 cm estes valores variaram entre 1,5 e 3,3 % (Quadro 07).

Na camada superficial a área F2 apresentou teores de matéria orgânica semelhantes à área de floresta, com redução em profundidade, sendo que, na camada de 15-30 cm a área F2 apresentou valores superiores apenas à área F1.

Quadro 07. Teor de matéria orgânica (g dm^{-3}) nas diversas áreas e profundidades

Prof (cm)	F1	F2	F3	Pt	Ft
0-5	33.10 \pm 1,6 A	39.83 \pm 10,8 AB	36.23 \pm 1,3 B	34.00 \pm 4,1 AB	39.37 \pm 6,6 AB
5-15	28.17 \pm 1,4 A	30.43 \pm 2,8 AB	33.53 \pm 2,3 B	32.63 \pm 3,4 AB	35.80 \pm 7,4 AB
15-30	17.00 \pm 2 A	21.50 \pm 0 B	30.43 \pm 2,8 C	26.83 \pm 8 ABC	33.07 \pm 8,6 BC

média \pm desvio padrão. F1 – Plantio em linha; F2 – Plantio com matraca; F3 – Plantio em linha mecanizado; Pt – Pastagem; Ft – Floresta. Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente a 5% no teste de Tukey.

Não se encontrou correlação significativa entre a matéria orgânica e os parâmetros físicos de estabilidade de agregados e densidade do solo. Sendo que com o DMP a correlação apresentou R^2 de 0,33, ou seja, 33%.

O fósforo (P) é um dos elementos mais importantes para o desenvolvimento das plantas, já que, aciona a maioria dos processos bioquímicos que exigem energia, como a captação de nutrientes e seu transporte no interior da planta (BRADY & WEIL, 2008).

A área Pt apresentou os menores valores de P na camada superior (Quadro 08), considerados críticos devido à sua importância para as plantas. Pela elevada variabilidade das área F1 e Ft estas acabaram por não diferir estatisticamente, apenas as área F2 e F3 diferiram significativamente da área Pt.

Observa-se que no topo do solo o teor de fósforo apresentou redução na sequência Ft > F1 > F2 > F3 > Pt, já entre 5 e 15 cm de profundidade a sequência foi F2 > F3 > F1 > Ft > Pt, e F2 > F3 > F1 > Pt > Ft na camada de 15 a 30 cm.

Quadro 08. Teor de Fósforo (mg dm^{-3}) nas diversas áreas e profundidades

Prof (cm)	F1	F2	F3	Pt	Ft
0-5	10.17 \pm 7,10 AB	8.23 \pm 2,81 B	6.30 \pm 1,25 B	2.50 \pm 1,51 A	10.33 \pm 11,67 AB
5-15	3.70 \pm 1,65 AB	5.13 \pm 2,25 AB	4.90 \pm 0,6 B	2.33 \pm 0,8 A	2.43 \pm 1,45 A
15-30	1.97 \pm 0,64 B	3.60 \pm 1,98 B	3.57 \pm 1,88 B	1.23 \pm 0,92 AB	1.07 \pm 0,23 A

média \pm desvio padrão. F1 – Plantio em linha; F2 – Plantio com matraca; F3 – Plantio em linha mecanizado; Pt – Pastagem; Ft – Floresta. Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente a 5% no teste de Tukey.

Neste estudo observa-se que apesar das áreas avaliadas apresentarem saturação por bases consideradas apropriadas ao cultivo, avaliando a saturação separadamente

observa-se que o Ca apresenta níveis baixos de saturação, enquanto K e Mg apresentam níveis ideais (Quadro 09).

Fageria & Stone (2006) colocam que o balanço (saturação) apropriado entre os cátions se torna mais importante para a produção agrícola que a saturação de bases.

Quadro 09. Saturação de Cátions (cmol dm^{-3})

Prof (cm)	F1	F2	F3	Pt	Ft
K					
0-5	0.62 \pm 0,3 AB	1.04 \pm 0,26 B	0.63 \pm 0,15 AB	0.49 \pm 0,14 A	0.96 \pm 0,35 AB
5-15	0.19 \pm 0,04 A	0.67 \pm 0,25 AB	0.60 \pm 0,15 AB	0.36 \pm 0,1 AB	0.81 \pm 0,26 B
15-30	0.17 \pm 0,04 A	0.35 \pm 0,01 B	0.53 \pm 0,27 BC	0.29 \pm 0,14 B	0.62 \pm 0,18 C
Ca					
0-5	4.27 \pm 0,93 A	6.80 \pm 2,17 AB	6.67 \pm 0,92 B	4.83 \pm 0,55 AB	6.10 \pm 1 AB
5-15	2.87 \pm 1,17 A	5.90 \pm 3,27 AB	6.17 \pm 1,44 B	4.37 \pm 1,45 AB	6.10 \pm 1 B
15-30	1.37 \pm 0,21 A	3.85 \pm 3,04 ABC	4.87 \pm 0,32 C	3.27 \pm 0,81 B	5.17 \pm 0,91 C
Mg					
0-5	1.87 \pm 0,55 A	1.63 \pm 0,55 A	1.53 \pm 0,23 A	2.07 \pm 0,5 A	1.77 \pm 0,23 A
5-15	1.93 \pm 0,21 A	1.53 \pm 0,61 A	1.43 \pm 0,40 A	1.60 \pm 0,17 A	2.53 \pm 1,27 A
15-30	2.03 \pm 0,11 B	1.65 \pm 0,07 A	1.33 \pm 0,35 A	1.83 \pm 0,81 AB	2.50 \pm 0,5 B

média \pm desvio padrão. F1 – Plantio em linha; F2 – Plantio com matraca; F3 – Plantio em linha mecanizado; Pt – Pastagem; Ft – Floresta. Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente a 5% no teste de Tukey.

A capacidade de troca de cátions (CTC) não apresentou diferença significativa entre as áreas e profundidades estudadas, variando entre 10 e 14 cmol/dm^3 , sendo classificada como moderadamente baixa (FAGERIA et al., 1999)

De modo geral as áreas tem saturação por bases considerada média (50-75%). Na comparação entre áreas, F2 apresentou maior saturação ultrapassando 70% na camada superficial. A área F2 apresentou também elevado desvio padrão entre as amostras, demonstrando a variabilidade dentro da área avaliada (Quadro 10).

A área Ft apresentou baixa variação entre a camada superficial e a camada de 15-30 cm (2%), o baixo valor de desvio padrão demonstra a homogeneidade química da área, e a elevada qualidade ambiental.

A área F1 na camada de 15-30 cm apresentou o menor valor de saturação, considerado muito baixo.

Graham (1959) expõe que o crescimento da cultura e a produtividade seriam pouco afetados pela saturação por bases dentro das faixas de 65% a 85% de cálcio, 6% a 12% de magnésio e 2% a 5% de potássio, com os íons de hidrogênio ocupando os sítios remanescentes das argilas.

Quadro 10. Saturação por bases (V%) nas diversas áreas e profundidades.

Prof (cm)	F1	F2	F3	Pt	Ft
0-5	54,87 ±6,42 A	71,83 ±17,05 AB	67,57 ±5,74 B	60,43 ±6,84 AB	62,13 ±0,72 B
5-15	42,03 ±8,12 A	63,87 ±16,84 AB	65,97 ±6,9 B	54,07 ±8,67 AB	61,43 ±0,63 B
15-30	26,73 ±4,86 A	55,25 ±20,29 BC	52,97 ±13,19 BC	49,27 ±5,69 B	60,10 ±1,01 C

média±desvio padrão. F1 – Plantio em linha; F2 – Plantio com matraca; F3 – Plantio em linha mecanizado; Pt – Pastagem; Ft – Floresta. Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente a 5% no teste de Tukey.

As áreas F2, Pt e Ft apresentaram teores de saturação por alumínio considerados muito baixos nas três camadas avaliadas. A área F3 apresentou nível médio de saturação na camada de 15-30 cm.

Apesar de não apresentar saturação por Al na camada superficial a área F1 apresentou teores considerados médio na camada de 5-15 cm, e muito altos na camada de 15-30 cm, sendo muito prejudicial às práticas agrícolas (OSAKI,1991).

De modo geral observa-se que a área F2 por ter sofrido a queima em um estágio de tempo mais recente que as demais áreas, apresentou melhores condições químicas, superiores e/ou semelhantes aos da área de floresta, com elevação do pH, matéria orgânica, P, CTC e Saturação de bases.

A área F1 na comparação com as demais áreas apresentou os indicadores químicos mais baixos, com destaque para o pH, teor de matéria orgânica e saturação por bases, nos quais chegou à apresentar diferenças de cerca de 50% nos valores das demais áreas cultivadas com feijão.

4. CONCLUSÕES

A complexa relação entre os atributos físico-químicos e o manejo dos solos fica evidente na realização deste trabalho, já que, parâmetros muitas vezes correlacionáveis nos demonstraram resultados divergentes em uma mesma área.

Entre os parâmetros avaliados os que apresentaram maior variação entre as áreas avaliadas foram: a infiltração acumulada e condutividade hidráulica (físico) e a saturação de bases (química).

Observamos que a diferença no tipo e tempo (idade) de manejo do solo entre as áreas cultivadas com feijão não geraram diferenças significativas nos parâmetros físicos do solo (densidade, porosidade, estabilidade de agregados e resistência mecânica)

A infiltração e a condutividade hidráulica em diferentes tensões aplicadas com o infiltrômetro de tensão foram os parâmetros físicos que apresentaram maior diferença entre as formas de manejo, demonstrando que a área F1 apresenta estrutura degradada devido à destruição dos macroporos, que são responsáveis pela maior parte da circulação de água e ar no interior do solo.

Nota-se que a área F2 por apresentar menor tempo de uso e maior teor de matéria orgânica, além de ter menor revolvimento apresentou as melhores condições químicas do solo, próximo ou superior aos valores da área Ft.

O tempo de regeneração de dois anos (F2) não foi suficiente para alterar os parâmetros físicos, mas a roçada e queima da vegetação acelerou a liberação dos nutrientes do solo contribuindo para a melhoria das condições químicas do solo.

Conclui-se desta forma que o manejo do solo tem maior efeito sobre os atributos químicos do que o tempo (idade) de manejo, já que a área F3 (30 anos de manejo) apresentou condições químicas superiores à área F1 (10 anos de manejo).

Conclui-se também que na bacia do Arroio Palmeirinha o uso do solo com pastagens tem provocado maior degradação física do solo se comparada com as áreas cultivadas com feijão, o que pode comprometer a qualidade ambiental da bacia, já que, as pastagens ocupam mais de 50% de sua área total.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, M. C.; CABEDA, M. S. V.. Infiltração em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada. **R. Bras. Ci. Solo**, v.23, p.753-761, 1999.
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S.. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um latossolo vermelho distrófico em recuperação. **R. Bras. Ci. Solo**, v.31, p.617-625, 2007.
- AMARO FILHO, J.; NEGREIROS, R. F. D.; JÚNIOR, R. N. A.; MOTA, J. C. A.; Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró, RN. **R. Bras. Ci. Solo**, v.31, p.415-422, 2007.
- AOKI, A. M.; SERENO, R.. Modificaciones de la conductividad hidráulica y porosidade del suelo estimadas mediante infiltrômetro de disco a tensión. **Agricultura técnica**. Vol 65, n 3. p.295-305. 2005.
- ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B.. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, p.123-141, 1996.
- ASSIS, R.L.; BAHIA, V.G. Práticas mecânicas e culturais de recuperação de características físicas dos solos degradados pelo cultivo. **Informe Agropecuário**, v.19, p.71-78, 1998.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **R. Bras. Ci. Solo**, v.21, p.105-112, 1997.
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN Jr., W. A.. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas comparadas às do campo nativo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.28, p.155-163, 2004.
- BIASI, M. de. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia da USP**. n. 6, São Paulo, p. 45 – 61, 1977.
- BICALHO, I. M.; Um estudo da densidade do solo em diferentes sistemas de uso e manejo. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.12; p.1, 2011.
- BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L.. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo a penetração. **R. Bras. Ci. Solo**, v.32, p.975-983, 2008.
- BONILLA, A.L.C. **Balço de nitrogênio em microbacias pareadas (floresta vs pastagem) no Estado de Rondônia**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005. 69p. (Dissertação de Mestrado)
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R.. **The nature and properties of soil**. 14 ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson-Prentice Hall, 2008. 990p.

- BRADY, N. C.. **Natureza e propriedade dos solos**. 7 ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898p.
- BRANDÃO, V. dos S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; DEMETRIUS, D. da.. **Infiltração da água no solo**. 3ªed. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 120p.
- BUENO, B. S.; VILAR, O. M. **Mecânica dos solos**. São Carlos: USP/EESC, 1998.
- BURLE, M. L., MIELNICZUK, J., FOCCHI, S. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. **Plant Soil**, v.190, p.309-316, 1997.
- BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; CAMP, C. R.; SOJKA, R. E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. **Soil Till Res**, Amsterdam, v. 43, n. 43, p. 205-217, 1997.
- CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p.1399-1407, 2008.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 132 p.
- CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.14 p.99-105, 1990.
- CARVALHO, G.J.; CARVALHO. M.P.; FREDDI, O.S.; MARTINS, M.V. Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto. **R. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, 10:765-771, 2006.
- CASSETI, V. **Geomorfologia**. [S.l.]: 2005. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em Maio de 2013.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L.. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **R. Bras. Ci. Solo**, v.22, p.527-538, 1998.
- CAVALCANTI, A. (Org). **Desenvolvimento sustentável e planejamento**. Fortaleza: UFC – Universidade Federal do Ceará, 1997, 86 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. As Teorias Geomorfológicas. **Not. Geomorf.**, Campinas, v. 13, n. 25, p. 3-4, jun., 1973.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2 ed., São Paulo, SP: Edgard Blucher, 1980, 187p.
- COELHO NETTO, A. L.. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 7ªed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p.93-148.
- CORRÊA, J.C. Efeito de métodos de cultivo em algumas propriedades físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso do estado do Amazonas. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.20, p.1317-1322, 1985.

CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.34, p.289-298, 1999.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos Cerrados no sul do Estado de Goiás. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, p.1047-1054. 2002.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N. & KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn, GTZ, 1991. 272p.

DEXTER, A.R.; YOUNGS, I. M.. Soil physic toward 2000. **Soil Till. Res.**, v. 24, p.101-106, 1992.

DIRKSEN, C. H. Unsaturated hydraulic conductivity. In: SMITH, K. A.; MULLINS, C. E. (Eds.). **Soil analysis: physical methods**. New York: M. Dekker, p. 209-269, 1991.

DULEY, F. L.. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. Soil Science, **American Journal Proceedings**, v.4, p.60-64, 1939.

EMBRAPA. Centro Nacional de pesquisa do solo. **Manual de métodos de análise do solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997. 212p.

EMBRAPA. Cultura do Algodão no Cerrado. **Sistemas de produção**. n.2. Versão eletrônica. 2003. Disponível em <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>. Acesso em 20 de junho de 2013.

FARIAS, A. F. G. de; SANTOS, A. C. dos; SANTOS, T. M. dos; BATISTELLA FILHO, F.. Influência do manejo do solo nas propriedades químicas e físicas em topossequência na bacia do rio Araguaia, estado do Tocantins. **R. Bras. Ci. Solo**, v.34, p.517-524. 2010.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.. Qualidade do solo e meio ambiente. **Documento 197**. Embrapa. 2006, 36p.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. dos. **Maximização da eficiência de produção das culturas**. Comunicação para Transferência de Tecnologia; Embrapa, 1999. 294p.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B; STONE, L. F.. Índices adequados de pH e de saturação por bases na produtividade do feijoeiro em solo de cerrado no Sistema Plantio Direto. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, n.30. Embrapa, 2008. 16p.

GARDNER, W. R.. Some steady state solutions of unsaturated moisture flow equations with application to evaporation from a water table. **Soil Science**, 85. p.228-232, 1958.

GERRARD, J.. **Soil Geomorphology**. Londres; Chapman & Hall, 1992. 269p.

GOLDBERG, S. et al. Factors affecting clay dispersion and aggregate stability of arid-zone soils. **Soil Sci.**, Baltimore, v. 146, p. 317-325, 1988.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R.; ANTONIO, A. M.; DELLA ROSA, S. C.; TISSELLI, A. C. P. C.. Análise da variabilidade do teor de água e permeabilidade de um Latossolo

Vermelho eutroférico em Campinas. In: **Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão**. Anais... Piracicaba, Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 2004.

GUERRA, A.J.T. Planejamento ambiental em Microbacia Hidrográfica. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. Da; BOTELHO, R.G.M. (org). **Erosão e conservação dos solos, conceitos temas e aplicações**. 2.ed. Rio de Janeiro; Bertrand Brasil, 2005. p 269-300.

HACK, J.T. Interpretation of Erosional Topography in Humid-Temperate Regions. **Amer. Journ. Sci**, New Haven, Conn. v. 258-A, p. 80-97, 1960.

HAYNES, R.J.; BEARE, M.H. Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, v.29, p. 1647-1653, 1997.

HÉNIN, S.; GRAS, R.; MONNIER, G. **Os solos agrícolas**. Rio de Janeiro, Forense-Universitária; São Paulo, Universidade de São Paulo, 1976. 334p.

INSTITUTO DE TERRAS CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS (ITCG). **Carta de Climas do Estado do Paraná**. Escala 1:250000. 2008. Disponível em www.itcg.pr.gov.br. Acesso em 20 de março de 2012.

JORGE, J. A.. **Física e Manejo dos Solos Tropicais**. Campinas. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985. 328p.

KARMANN, I.. Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M. de; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F.. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. P.113-138.

KIEHL, E. J.. **Manual de Edafologia: Relações solo planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 276p.

KLEIN, V.A. **Propriedades físico-hídrico-mecânica de um latossolo roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. 1998. 150f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ/Universidade de São Paulo.

KONISHI, S. Stimulatory effects of aluminium on tea plant growth. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 14. 1990, Kyoto. **Transactions**. Kyoto: ISSS, 1990. v.4, p.164-169. Trabalho apresentado na seção "New Aspects of Essential and Beneficial Elements in Plant Nutrition".

KOOREVAAR, P.; MENELIK, G.; DIRKSEN, C.. **Elements of soil physics**. Development of soil science, Amsterdam: Elsevier, 13 228p.

LACERDA, N. B.; ZERO, V. M.; BARILLI, J.; MORAES, M. H.; BICUDO, S. J.. Efeito de sistemas de manejo na estabilidade de agregados de um Nitossolo vermelho. **Eng. Agríc**. Jaboticabal. v.25, n.3. p.686-695, 2005.

LAPEN, D.R.; TOPP, G.C.; GREGORICH, E.G. & CURNOE, W.E. Least limiting water range indicator of soil quality and corn production, eastern Ontario, Canada. **Soil Till. Res.**, 78:151-170, 2004.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advison Soil Science**, [S.l.], v. 1, p. 277-294, 1985.

LIBARDI, P. L.. **Dinâmica da água no Solo**. São Paulo: Edusp, 2005, 335p.

LIMA, C. L. R.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; SILVA, J. B.. Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, 27, p.199-205, 2003.

MACHADO, P. L. O. A. **Considerações gerais sobre a toxicidade do alumínio nas plantas**. Documento 2. EMBRAPA, 1997. 22p.

MEGDA, M. M.; CARVALHO, M. de P. e; VIEIRA, M. X.; ANDREOTTI, M.; PEREIRA, E. C.. Correlação linear e espacial entre a produtividade de feijão e a porosidade de um Latossolo vermelho de Selvíria (MS). **R. Bras. Ci. Solo**. 32, p.781-788, 2008.

MEROTTO JR., A. & MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. **R. Bras. Ci. Solo**, v.23 p.197-202, 1999.

MESQUITA, M.G.B.F. & MORAES, S.O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, v.34, p.963-969, 2004.

MINEROPAR, Minerais do Paraná. **Atlas Geológico do Estado do Paraná**. Curitiba, 2001.

MINEROPAR, Minerais do Paraná. **Carta Geomorfológica de Telêmaco Borba folha Sg-22-X-A**. Escala 1:250000. 2006. Disponível em <http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=133>. Acesso em 04 de outubro de 2012

MINEROPAR, Minerais do Paraná. **Mapa de Vulnerabilidade Geoambiental do Estado do Paraná**. Escala 1:650000. 2007. Disponível em <http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=133>. Acesso em 04 de outubro de 2012

MINISTÉRIO DO EXÉRCITO – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E COMUNICAÇÕES. **Carta topográfica Reserva - PR Folha SG.22-X-A-IV-1**. Escala 1: 50000.

MODELO, A. J.; FERNANDES, H. C.; NAIME, J. de M.; SILVEIRA, J. C. M. da; SCHAEFER, C. E. G.; SANTOS, N. T.. Efeitos da umidade do solo e cargas aplicadas pela roda compactadora na densidade do solo na linha de semeadura. **Rev. Ceres**, v. 56, n.5, p. 627-633, 2009.

MOREIRA, J. A. A.; OLIVEIRA, I. P.; GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F. Atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho distrófico sob pastagens recuperada e degradada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, n.3, p.155-161, 2005.

OADES, J.M. Mucilages at the root surface. **J. Soil Sci., Oxford**, v. 29, p. 1-16, 1978.

OSAKI, F. **Calagem e adubação**. Campinas: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 1991. 503 p.

- OTHMER, H.; DIEKKRUGER, B.; KUTILEK, M.. Bimodal porosity and unsaturated hydraulic conductivity. **Soil Science**, Baltimore, v. 152, n. 3, p.139-150, 1991.
- PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 3, p.521-529, 2001.
- PEDROTTI, A.; MÉLLO Jr., A. V.. **Avanços em ciência do Solo**: A física do solo na produção agrícola e qualidade ambiental. Aracaju: Ed. UFS, Fapitec, 2009. 209p.
- PEREIRA, A. A.; FCHIN, P. A.; THOMAZ, E. L.. Avaliação da densidade aparente em solos não homogêneos: Análise preliminar. Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 15, 2013, Vitória. **Anais**. Vitória: UFES, 2013.
- PERUSI, M.C.; CARVALHO, W.A.. Comparação de métodos para determinação da estabilidade de agregados por via seca e úmida em diferentes sistemas de uso e manejo do solo. **Geociências**. V.27 n.2, p.197-206, 2008.
- POTT, C. A.; DE MARIA, I. C.. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **R. Bras. Ci. Solo**. V.27. p. 19-27, 2003.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C.. **Solo, planta e atmosfera**: conceitos, processos e aplicações. 2 ed. Barueri: Manole, 2012, 500p.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990, 188p.
- REINERT, D. J.; REICHERT, J.M.. **Propriedade físicas do solo**. UFSM, 2006, 18p.
- RONQUIN, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, 8. Embrapa. 2010, 27p.
- ROSS, J. L. S.. **Geografia do Brasil**. 4 ed. São Paulo: Edusp, 2001.
- SALET, R.L. **Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994. 110p. (Tese de Mestrado)
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, v.32, p.11-21, 2008.
- SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T. da; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. L. S.. Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Ano 7, n.2, Uberlândia: UFU, p.03-12, 2006.
- SANTOS, A. C. dos.; SALCEDO, I. H.; CANDEIAS, A. L. B.. Relação entre o relevo e as classes texturais do solo na microbacia hidrográfica de Vaca Brava, PB. **Revista brasileira de Cartografia**. N°54. P.86-94, 2002.
- SECCO, D. **Estados de compactação e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas em dois latossolos sob plantio direto**.

2003. 171 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

SEIXAS, F.; SOUZA, C.R. Avaliação e efeito da compactação do solo, devido à frequência de tráfego, na produção de madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, v.31, n.6, p.1047-1052, 2007.

SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; STORCK, L. & FEIJÓ, S.. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **R. Bras. Ci. Solo**, v.27, p.1013-1020, 2003.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J.. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **R. Bras. Ci. Solo**, v.21, p.313-319, 1997.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **R. Bras. Ci. Solo**, v.22, p.311-317, 1998.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência do solo à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no Recôncavo da Bahia. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 34, n. 3, p. 659-667, 2010.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **R. Bras. Ci. Solo**. V.28, p. 937-944, 2004.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.. Otimização amostral de atributos de Latossolos considerando aspectos solo-relevo. **Ciência Rural**, n.36. P.829-836, 2006.

SOUZA, Z. M. ; PRADO, R. M.; PAIXAO, A. C. S. ; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.40, n.3, pp. 271-278, 2005.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.15, p.229-235, 1991.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M.. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.25, p.395-401, 2001

STONE, L.F.; GUIMARÃES, C. M.. Influência de Sistemas de Rotação de Culturas nos Atributos Físicos do Solo. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. 16, Embrapa, 2005. 16p.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, V.34, n.3, p.755-760, 2004.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B.. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.25, n.3, p.725-730, 2001.

- TAVARES FILHO, J.; RIBON, A. A.. Resistência do solo à penetração em relação ao número de amostras e ao tipo de amostragem. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 487-494, 2008.
- TEIXEIRA, L. A. J.; TESTA, V. M.; MIELCZUK, J. Nitrogênio no solo, nutrição e rendimento de milho afetados por sistemas de cultura. **R. Bras. Ci. Solo**, v.18, p. 207-214, 1994.
- TESTA, V. M.; TEIXEIRA, L. A. J.; MIELNICZUK, J. Características químicas de um Podzólico Vermelho-Escuro afetadas por sistemas de culturas. **R. Bras. Ci. Solo**, v.16, p.107-114, 1992.
- THOMAZ, E. L.. Compartimentos geomorfológicos e produção de milho em agricultura de subsistência, Guarapuava-PR: avaliação exploratória. **Sociedade & Natureza**, nº19. p.45-54, 2007.
- THOMAZ, E. L.. Influência da temperatura no diâmetro e na estabilidade de agregados em chernossolo, Saskatchewan, Canadá. **Ciência del Suelo**. Vol. 29. Nº 2, p. 277-284, 2011.
- THOMAZ, E. L.; DIAS, W. A. Bioerosão – Evolução do Rebanho Bovino Brasileiro e Implicação nos Processos Geomorfológicos. **Rev. Bras. De Geomorfologia**. v.10, n.2, p. 3-11, 2009.
- TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba, SP: Agropecuária, 1997. 274 p.
- TORRES, E. & SARAIVA, O.F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina, EMBRAPA, 1999. 58p. (Circular Técnica, 23)
- VELOSO, C. A. C.; BORGES, A. L.; MUNIZ, A. S.; VIEGAS, I. J. M. Efeitos de diferentes materiais no pH do solo. **Sci. Agric.**, 49:123-128, 1992.
- VIANA, J. H. M.; Determinação da densidade de solos e de horizontes cascalhentos. **EMBRAPA**. Sete Lagoas, MG, 2008.
- VIEIRA, M.J. Propriedades físicas do solo. In: Instituto Agrônomo do Paraná. **Plantio direto no Estado do Paraná**. Londrina, 1981. p.19-32. (IAPAR. Circular, 23)
- VIEIRA, M.J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.19 p.873-882, 1984.
- WENDLING, B.; KUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. de S.; NEVES, J. C. L.. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesq. Agropec. Bras.** v.40, n.5, p.487-494, 2005.
- WOODING, R. A.. Steady infiltration from a shallow circular pond. 1968. **Water Resour. Res.** 4: p.1259-1273.
- WUTKE, E. B. et al. Estimativa de temperatura-base e graus-dia para feijoeiro nas diferentes fases fenológicas. **Rev. Bras. de Agrometeorologia**, v. 8, p.55-61, 2000.