

UFRRJ

INSTITUTO DE TECNOLOGIA

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

DISSERTAÇÃO

**Caracterização Morfométrica da Sub-Bacia do
Ribeirão Cachimbal, RJ e Atributos Edáficos
Condicionantes no Processo Erosivo em Pedoformas
Côncava e Convexa**

João Henrique Gaia Gomes

2017



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E
AMBIENTAL**

**CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA SUB-BACIA DE
RIBEIRÃO CACHIMBAL, RJ E ATRIBUTOS EDÁFICOS
CONDICIONANTES NO PROCESSO EROSIVO EM
PEDOFORMAS CÔNCAVA E CONVEXA**

JOÃO HENRIQUE GAIA GOMES

Sob a Orientação do Professor
Marcos Gervasio Pereira

e Co-orientação dos Professores
**Leonardo Batista Duarte da Silva
e Marcos Bacis Ceddia**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, Área de concentração em Meio Ambiente.

Seropédica - RJ
Fevereiro de 2017

Universidade Federal Rural do rio de Janeiro
Biblioteca Central/ Seção de Processamento Técnico

G 633 c GaiaGomes, João Henrique, 1991-
Caracterização Morfométrica da Sub-Bacia do ribeirãoCachimbal, RJ e Atributos Edáficos Condicionantes no Processo Erosivo em Pedoformas Côncava e Convexa/João Henrique Gaia Gomes. – 2017.
87f.: il.

Orientador: Marcos Gervasio Pereira.

Coorientador: Marcos BacisCeddia.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, 2017.

1. Manejo e Conservação. 2. Erosão do solo. 3. Bacias hidrográficas. 4. Geoprocessamento. 5. Atributos edáficos. I. Pereira, MarcosGervasio, 1965, oriente. II Ceddia, Marcos Bacis, 1968-, coorient.III Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental III. Título.

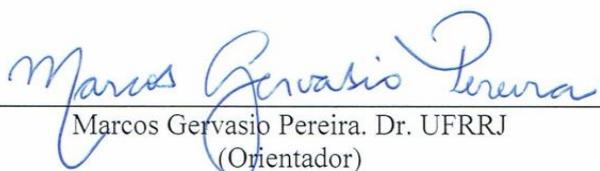
É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E
AMBIENTAL

JOÃO HENRIQUE GAIA GOMES

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, área de Concentração em Meio Ambiente.

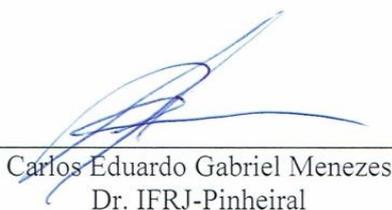
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 23/02/2017



Marcos Gervasio Pereira, Dr. UFRRJ
(Orientador)



Sidinei Julio Beutler
Dr. em Agronomia – Ciência do Solo



Carlos Eduardo Gabriel Menezes
Dr. IFRJ-Pinheiral

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, Manoel Gonçalo Gonçalves Batista, Emilce Gaia Batista e Maria Helena Gaia,
a Laylla Areas Faria Chagas
a Daniel de Souza Gaia (in memoriam)
ao meu orientador e grande amigo Marcos Gervasio,
aos familiares e amigos.*

Dedico!

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me proporcionado essa bela fase em minha vida, onde pude realizar um sonho.

À minha querida mãe, Sra. Maria Helena, por ter me auxiliado nessa caminhada.

À minha querida mãe de “criação”, Sra. Emilce, e ao meu pai de “criação”, Sr. Manoel Gonçalo, por todo amor dedicado a mim desde o dia que nasci, pelos ensinamentos, pela educação, pelo incentivo, por todo auxílio e colo.

Ao meu padrinho Márcio e família, a minha madrinha Maria Ediléia pelo carinho e auxílio, e aos meus tios Evaldo, Evandro e família, Eliézer e família, e Maria Elza pela dedicação em minha criação e preocupação com meus estudos.

As minhas queridas avós Maria das Dores (*in memoriam*) e Maria Aparecida Elinéia que apesar de algumas limitações, sempre estiveram preocupadas e me auxiliando.

Ao meu orientador e grande amigo Marcos Gervasio Pereira pelos ensinamentos e pela amizade.

Aos meus amigos Águiner Ramos, Gabriel Souza e Carlos Alexandre Nunes por todo companheirismo e amizade nessa caminhada.

Ao meu primo Daniel Gaia, meu maior motivador a vida nos últimos anos, pois mesmo diante de um câncer esteve sempre sorridente lutando a cada dia por sua cura, mostrando a todos que para conseguirmos vencer na vida temos que ter perseverança e lutar, por mais que seja árduo o caminho, no fim sempre há uma luz.

Ao Sr. Hamilton Chagas e a Sra. Berenice Chagas, pelo carinho, dedicação, auxílio e tratamento.

Aos órgãos financiadores da pesquisa: CAPES, CNPq, FAPERJ, CPGA-CS/UFRRJ e PGEAAmb/UFRRJ.

Ao IFRJ Campus Nilo Peçanha, em especial ao Professor Dr. Carlos Eduardo Gabriel Menezes pelos ensinamentos e auxílio na coleta.

Aos Professores, Marcos Bacis Ceddia, Conan Ayade Salvador e Sady Menezes que contribuíram imensamente para a ampliação de meu conhecimento e desenvolvimento do trabalho.

A todos os professores da UFRRJ, graduação e pós-graduação que muito contribuíram para minha formação.

Aos membros da banca examinadora, Sidinei Julio Beutler e Carlos Eduardo Gabriel Menezes, que muito contribuíram com a versão final dessa dissertação.

A Vanessa Freo e Alexandre dos Santos Medeiros pelo convívio, auxílio nos momentos de dúvida e apoio na coleta.

A Fabiana da Costa por todo auxílio nas análises realizadas.

Ao Anderson Ribeiro Diniz, André Geraldo de Lima Moraes, Elias Mendes Costa e Gilsonley Lopes dos Santos pelo auxílio no desenvolvimento do trabalho.

Ao PGEAAmb, CPGA-CS e todos os professores e funcionários pela estrutura de pesquisa, conhecimentos transmitidos e apoio no trabalho.

A essa linda Universidade que me proporcionou uma nova visão e enriquecimento da vida.

À CAPES pela concessão da bolsa.

À FAPERJ pelo fomento.

A todos meus sinceros agradecimentos!

BIOGRAFIA

João Henrique Gaia Gomes nasceu no dia 23 de Fevereiro de 1991 na cidade de Campos dos Goytacazes, Estado do Rio de Janeiro, filho de Manoel Gonçalo Gonçalves Batista/Emilce Gaia Batista e José Pereira Gomes Neto/Maria Helena Gaia. Realizou o ensino fundamental na Escola Estadual Admardo Alves Torres e ensino médio no Centro Educacional Nossa Senhora Auxiliadora. Ingressou na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) em abril de 2009, no curso de Engenharia Agrícola e Ambiental no qual foi graduado Engenheiro Agrícola e Ambiental em Janeiro de 2014. Foi aprendiz administrativo na IMBEG Engenharia LTDA no período de dezembro de 2011 a fevereiro de 2012. Monitor na Área de Máquinas Agrícolas e Energia na Agricultura no biênio 2012-2013. Estagiário do Laboratório de Gênese e Classificação de Solos do Instituto de Agronomia da UFRRJ em 2013. Bolsista de iniciação científica (Fundação Agrisus) nos anos de 2013e 2014. Estagiário na Monitore Agriambiental-ME de junho de 2014 a dezembro de 2014. Em fevereiro de 2015 ingressou na Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho na Universidade Católica de Petrópolis/IPETEC. Em março de 2015 ingressou no programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, área de concentração em Meio Ambiente/Recuperação de Áreas Degradadas, sendo representante dos discentes no biênio 2016-2017.

RESUMO GERAL

GAIA-GOMES, João Henrique. **Caracterização Morfométrica da Sub-Bacia do Ribeirão Cachimbal, RJ e Atributos Edáficos Condicionantes no Processo Erosivo em Pedoformas Côncava e Convexa**. 2017. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental). Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017.

Em decorrência de atividades como agricultura, pastagens destinadas a pecuária, áreas de mineração, exploração madeireira e ocupação imprópria nas regiões urbanas, cerca de 28% do território brasileiro é classificado como degradado. Em algumas regiões do Brasil, em função dos seus aspectos geomorfológicos associados às intensas precipitações ocorridas no verão, são verificados problemas de degradação como processos erosivos e deslizamentos de encostas. A região de Pinheiral-RJ apresenta atualmente, apenas 18 % de seu território sob cobertura florestal nativa em diferentes níveis de alteração e regeneração, possui 88% de sua área classificada como alta ou muito alta vulnerabilidade à erosão. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito dos atributos do solo e da morfologia da sub-bacia do ribeirão Cachimbal como condicionantes no processo erosivo em diferentes feições topográficas (pedoformas), côncava e convexa, na Região do Médio Vale do Paraíba do Sul-RJ, com finalidade de gerar informações que contribuam para os programas de recuperação de áreas degradadas. Foi gerado o modelo digital de elevação (MDE) através das cartas topográficas dos municípios de Volta Redonda (Folha SF-23-Z-A-V-2) e Pirai (Folha SF- 23-Z-VI-1), utilizando o software ArcGis 10.2. A quantificação do número de voçorocas foi realizada através do Google Earth. A caracterização morfométrica, a abertura de trincheiras para classificação do solo, a coleta das amostras de terra, as análises físicas e de rotina da fertilidade e a análise da variabilidade dos atributos do solo foram realizadas baseando-se em critérios da literatura. Verificou-se que não há susceptibilidade de enchente na área estudada, devido a sua forma alongada. A sub-bacia tem um padrão de drenagem dendrítico, ordem de fluxo de 5º grau, e Densidade de drenagem (Dd) muito boa. Em particular, o valor da densidade de hidrográfica (Dh) indica um elevado potencial para gerar novos canais. Embora o Coeficiente de rugosidade (Cr) indique capacidade agrícola para a agricultura, o Índice de rugosidade (Ir) demonstra a necessidade de adotar práticas agrícolas mais nuançadas que levem em conta as características particulares da área e que reconheçam variações no terreno e características do solo. Foram quantificadas 30 voçorocas em toda a sub-bacia, sendo 24 na pedoforma convexa e 6 na côncava. Os atributos físicos e químicos diferiram quanto aos ambientes.

Palavras-Chave: Geoprocessamento, erosão, atributos do solo, análises multivariadas.

GENERAL ABSTRACT

GAIA - GOMES, João Henrique. **Morphometric characterization of the Sub - Basin of Ribeirão Cachimbal, RJ and Edaphic Conditioners Attributes of the Erosion Process on Concave and Convex Landforms** 2017.87f. Dissertation (Master of Agricultural and Environmental Engineering). Institute of Technology, Rural Federal University of Rio de Janeiro, Seropédica, 2017.

As a result of activities such as agriculture, pastures for cattle raising, mining areas, logging and improper occupation in urban areas, about 28% of the Brazilian territory is classified as degraded. In some regions of Brazil, due to their geomorphological aspects associated to the intense precipitations that occur in summer, degradation problems such as erosive processes and slope slides can be verified. The Pinheiral-RJ region currently has only 18% of its territory under native forest cover at different levels of alteration and regeneration, with 88% of its area classified as high or very high vulnerable to erosion. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effect of soil attributes and morphology of the sub-basin of the Cachimbal River as conditions to the erosive process in different topographic features (pedoforms), concave and convex, in the Middle Vale do Paraíba do Sul -RJ, in order to generate information that contributes to the recovery programs of degraded areas. The digital elevation model (DEM) was generated using topographic maps of the municipalities of Volta Redonda (Page SF-23-Z-A-V-2) and Piraí (Page SF-23-Z-VI-1) using ArcGis 10.2 software. The quantification of gull numbers was performed through Google Earth. Morphometric characterization, trench opening for soil classification, collection of soil samples, physical and routine fertility analysis and analysis of soil attributes variability were performed based on literature criteria. It was verified that there is no susceptibility to flood in the studied area due to its elongated shape. The sub-basin has a dendritic drainage pattern, flow order of 5th degree, and very large drainage density (Dd). In particular, the average hydrographic density (Hd) value indicates a high potential for generating new channels. Although roughness coefficient (Cr) indicates agricultural capacity for agriculture, roughness index (Ir) demonstrates the need to adopt more nuanced agricultural practices that take into account the particular characteristics of the area and recognize variations in the terrain and soil characteristics. 30 gullies were quantified throughout the sub-basin, 24 being in the convex pedoform and 6 in the concave. The physical and chemical attributes differ in the environments.

Keywords: GIS, erosion, soil properties, multivariate analyzes.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Enquadramento do relevo a partir das características topográficas.....	16
Tabela 2. Classes de orientação com suas respectivas variações.	17
Tabela 3. Características morfométricas de bacias hidrográficas.....	17
Tabela 4. Classificação da Dd de bacias hidrográficas.	19
Tabela 5. Classificação determinada pelo coeficiente de rugosidade (CR) para uso dos solos.....	19
Tabela 6. Classificação da Dh de bacias hidrográficas.	20
Tabela 7. Distribuição da altimetria em classes.....	22
Tabela 8. Distribuição da declividade em classes.	22
Tabela 9. Distribuição da superfície de curvatura.	23
Tabela 10. Distribuição da orientação de vertentes em classes.....	25
Tabela 11. Distribuição da radiação solar (KWh/m ² /ano).....	25
Tabela 12. Parâmetros morfométricos da sub-bacia do ribeirão Cachimbal, Pinheiral-RJ.....	26
Tabela 13. Valores das correlações entre os atributos químicos do solo e os eixos.....	57
Tabela 14. Valores das correlações entre os atributos químicos do solo e os eixos.....	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exemplos de pedoformas.	2
Figura 2. Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Cachimbal, Pinheiral - RJ. 13	
Figura 3. Região de Mar de Morros.	14
Figura 4. Mapa de altimetria da sub – bacia do ribeirão Cachimbal, Pinheiral-RJ.	21
Figura 5. Mapa de declividade da sub - bacia do ribeirão Cachimbal, Pinheiral-RJ. ...	22
Figura 6. Mapa da superfície de curvatura da sub - bacia do ribeirão Cachimbal, Pinheiral-RJ.	23
Figura 7. Mapa de orientação de vertentes da sub - bacia do ribeirão Cachimbal, Pinheiral-RJ.	24
Figura 8. Mapa da radiação solar da sub - bacia de ribeirão Cachimbal, Pinheiral-RJ. 25	
Figura 9. Mapa da ordem dos cursos d'água da sub-bacia de ribeirão Cachimbal, Pinheiral-RJ.	28
Figura 10. Erosão laminar.	45
Figura 11. Erosão na forma de sulcos.	46
Figura 12. Erosão na forma de ravina.	46
Figura 13. Erosão na forma de voçoroca.	47
Figura 14. Análise granulométrica.	50
Figura 15. Amostras em período de saturação (a) e mesa de tensão utilizada (b).	50
Figura 16. Determinação da Densidade de Partículas (Dp)..	51
Figura 17. Distribuição de frequência das voçorocas ocorrentes na área de estudo.	53
Figura 18. Latossolo Vermelho – Amarelo na pedoforma côncava (a) e Latossolo Amarelo (b) na pedoforma convexa.	54
Figura 19. ACP para as variáveis químicas do solo.	57
Figura 20. ACP para as variáveis físicas avaliadas.	58

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	ix
GENERAL ABSTRACT	x
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO 1: CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO CACHIMBAL, PINHEIRAL - RJ	4
1 INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1 Bacia hidrográfica.....	7
2.2 Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas.....	8
2.3 O uso do sistema de informação geográfica (SIG) como ferramenta para o processamento digital de imagens	9
2.3.1 Histórico e uso do SIG	9
2.3.2 Modelo digital de elevação (MDE)	10
2.3.3 Modelagem de dados geográficos	10
2.4 Manejo de bacias hidrográficas através da caracterização morfométrica	11
2.4.1 O Município de Pinheiral – RJ	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 Localização da área de estudo	13
3.2 Caracterização do meio físico.....	13
3.2.1 Clima	13
3.2.2 Geologia	13
3.2.3 Geomorfologia.....	14
3.2.4 Relevo.....	14
3.2.5 Vegetação	15
3.2.6 Solos	15
3.3 Atributos Morfométricos	15
3.3.1 Declividade.....	15
3.3.2 Superfície de Curvatura	15
3.3.3 Orientação das vertentes	16
3.3.4 Radiação Solar.....	17
3.4 Parâmetros morfométricos.....	17

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1 Descrição dos atributos e parâmetros morfométricos.....	21
4.1.1 Altimetria.....	21
4.1.2 Declividade.....	22
4.1.3 Superfície de curvatura.....	23
4.1.4 Orientação de vertentes	24
4.1.5 Radiação solar.....	25
4.2 Parâmetros morfométricos.....	26
5 CONCLUSÕES	29
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
CAPÍTULO 2: ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM DIFERENTES AMBIENTES E PEDOFORMAS DE VOÇOROCAS, SUB - BACIA DO RIBEIRÃO CACHIMBAL, PINHEIRAL – RJ	38
RESUMO	39
ABSTRACT	40
1 INTRODUÇÃO	41
2 REVISÃO DE LITERATURA	41
2.1 Erosão do solo	41
2.1.1 Erosão hídrica do solo	42
2.1.2 Fatores condicionantes da erosão hídrica do solo	42
2.1.3 Formas ocorrentes de erosão hídrica do solo	45
2.1.5 Ocorrência de voçorocas em diferentes solos.....	47
3 MATERIAL E MÉTODOS	49
3.1 Localização da área de estudo e caracterização do meio físico.....	49
3.2 Mapeamento das voçorocas.....	49
3.3 Classificação quantitativa e qualitativa das voçorocas.....	49
3.4 Coleta das amostras de terra	49
3.5 Análises de solo	49
3.5.1 Análises físicas	49
3.5.2 Análises químicas	52
3.6. Análise estatística	52
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1 Distribuição quantitativa e qualitativa das voçorocas	53
4.2 Classificação e descrição morfológica dos perfis de solo	53

4.2.1 Atributos físicos.....	55
4.2.2 Atributos químicos	55
4.2 Análise dos componentes principais (ACP)	57
4.2.1 ACP para as variáveis químicas do solo.....	57
4.2.2 ACP para as variáveis físicas do solo.....	58
5 CONCLUSÕES.....	59
6 CONCLUSÕES GERAIS	60
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXOS	71

1INTRODUÇÃO GERAL

Estima-se que a Floresta Atlântica recobria antes da chegada dos portugueses ao Brasil, quase todo o território fluminense, envolvendo a floresta propriamente dita (floresta ombrófila densa) e ecossistemas associados, tais como manguezais, restingas e campos de altitudes. Na região do Médio Vale do Paraíba do Sul a decadência da cafeicultura fluminense, provocada pelo esgotamento dos solos, levou à generalização do uso da terra por pastagens, com a prática de queimadas para a sua renovação. O município de Pinheiral, localizado nessa região, segundo MENEZES (2008), tem como consequência do histórico de ocupação e uso de suas terras, apenas 18 % de seu território sob cobertura florestal nativa em diferentes níveis de alteração e regeneração.

Dentre os municípios do vale do rio Paraíba do Sul com problemas de erosão e degradação das terras, o município destaca-se, com 88% de sua área estando nas classes de alta ou muito alta vulnerabilidade à erosão, o maior índice entre todos os municípios fluminenses (CEIVAP, 2002; MENEZES, 2008), sendo que a retirada da cobertura vegetal associada às práticas agrícolas utilizadas contribuem para o agravamento dos processos erosivos, favorecendo em sua maioria para o surgimento de voçorocas.

As voçorocas são feições decorrentes de processos erosivos caracterizados por depressões profundas, circundadas por vertentes quase verticais, que se alargam nas proximidades das cabeceiras devido à intensa atividade erosiva regressiva e se afunilam junto à foz do curso d'água que a percorre, cortando sedimentos de fraca coesão, sem apresentar forte declive longitudinal (VIEIRA, 1978; TEDESCO et al., 2014).

A partir da observação desse cenário, percebe-se a importância de estudos que contribuam para um maior entendimento dos processos de degradação, apesar de na literatura serem apresentados os vários efeitos das feições topográficas. Aqui nesse estudo denominadas de pedoformas, (côncava e convexa) na dinâmica da água, nutrientes e processos erosivos, poucos são aqueles que demonstram a influência das pedoformas no processo de formação das voçorocas.

De acordo com SANTOS (2014) as características do terreno podem ser tomadas como indicadores do padrão dos atributos do solo, os quais estão diretamente relacionados com as pequenas alterações do declive, e como consequência apresentar uma variedade de situações ambientais, como: umidade, fertilidade do solo, transporte de partículas do solo e suscetibilidade a ocorrência de processos erosivos.

O estudo das relações solo-geomorfologia tem sido realizado por meio de vários modelos de paisagem (MONTANARI et al., 2005). TROEH (1965) e SANTOS (2014) entendem que um modelo de paisagem é aquele baseado na curvatura do terreno, onde as pedoformas podem variar desde as lineares até as côncavas, passando pelas convexas, associando o perfil e a curvatura da paisagem com o grau de intemperismo e evolução do terreno (Figura 1).

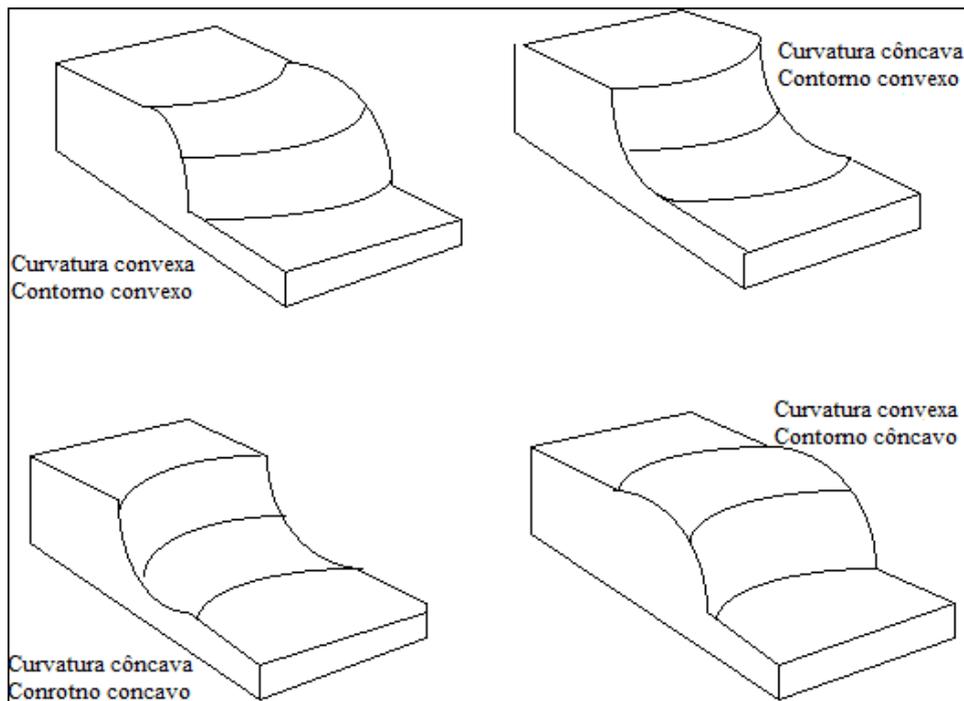


Figura 1. Exemplos de pedoformas. Fonte: Adaptado de TROEH (1965).

Para RUHE (1956) e DANIELS et al. (1971) seus modelos estabelecem a definição de superfície geomórfica como sendo uma porção de terra que é especificamente definida no espaço e no tempo.

Para MIQUELONI (2015) o processo erosivo de perda de solo tende a ser mais intenso em pedoformas convexas e SILVEIRA (2015) afirma que essa pedoforma possui maior susceptibilidade erosiva, pois apresenta fluxo concentrado.

Diante disto, partindo da hipótese que as voçorocas ocorrem preferencialmente em uma determinada pedoforma e de que seus atributos edáficos apresentam padrões diferenciados em função da superfície. O objetivo geral do estudo foi avaliar o efeito da morfologia e dos atributos do solo da sub-bacia do ribeirão Cachimbal como condicionantes no processo erosivo em pedoformas côncava e convexa, na região do Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral (RJ), com a finalidade de gerar informações que contribuam nos programas de recuperação de áreas degradadas.

Para se alcançar o objetivo geral do estudo foram determinados os seguintes objetivos específicos:

- Gerar o modelo digital de elevação da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Cachimbal, Pinheiral, Rio de Janeiro;
- Caracterizar morfometricamente a sub-bacia hidrográfica do ribeirão Cachimbal, Pinheiral, Rio de Janeiro;
- Avaliar a variabilidade dos atributos físicos e químicos do solo nos diferentes ambientes e pedoformas;
- Identificar as principais limitações edáficas nos processos de recuperação das áreas degradadas

O estudo foi dividido em capítulos, identificados a seguir:

Capítulo 1 – Caracterização morfométrica da sub-bacia do ribeirão Cachimbal, Pinheiral – RJ;

Capítulo 2 – Atributos físicos e químicos em diferentes ambientes e pedoformas de voçorocas, sub-bacia do Ribeirão Cachimbal, Pinheiral – RJ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.2, p.241-248, 2006.
- CEIVAP–Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul – **Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos**. Fundação Coppetec. UFRJ. Agência Nacional das Águas, 1-8 ed., 1200p., 2002.
- CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, v.9, n.18, p.35-64, 1969.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1974. 150p.
- DANIELS, R. B.; GAMBLE, E. F.; CADY, J. G. The relation between geomorphology and soil morphology and genesis. *Advances in Agronomy*, **Madison**, v. 23, n. 1, p. 51-87, 1971.
- MENEZES, C. E. G. **Integridade de paisagem, manejo e atributos do solo no Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral-RJ**. 2008. 172 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008.
- MONTANARI, R.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. de. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.1, 2005.
- MIQUELONI, D. P.; GIANELLO, E. M.; BUENO, C. R. P. Variabilidade espacial de atributos e perda de solo na definição de zonas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiás, v.45, n. 1, p. 18-28, 2015.
- RUHE, R. V. Geomorphic surfaces and the nature of soils. *Soil Science*, Baltimore, v.82, p.441-445, 1956.
- SANTOS, G. L. **Efeito da Pedofoma no Processo de Sucessão Secundária em Fragmentos Florestais na Região do Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral, RJ**. 2014. 130f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2014.
- SILVEIRA, C. P. L. da. **Caracterização de solos e sedimentos em depósitos e fontes em potencial na bacia hidrográfica do Arroio Pelotas**. 2015. 127f. Dissertação (Mestrado em recursos Hídricos). Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2015.
- TEDESCO, A.; ANTUNES, A. F. B.; OLIANI, L. O. Detecção de formação erosiva (voçoroca) por meio de classificação hierárquica e por árvore de decisão. **Boletim Ciência Geod.**, Curitiba, v. 20, n. 4, 2014.
- TROEH, F. R. Landform equations fitted to contour maps. *Soil Science Society American Journal*, New York, v. 263, p. 616-27. 1965.
- VIEIRA, N. M. **Estudo geomorfológico das voçorocas de Franca-SP**. Tese - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Franca. 1978.

CAPÍTULO 1: CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA SUB- BACIA DO RIBEIRÃO CACHIMBAL, PINHEIRAL -RJ

RESUMO

A sub-bacia hidrográfica do ribeirão Cachimbaltem grande parte de sua área no município de Pinheiral-RJ que possui 88% de seu território classificado com alto potencial erosivo. A caracterização morfométrica é considerada como ferramenta base para avaliar os fatores geométricos, geomorfológicos, rede de drenagem e, conseqüentemente, para entendimento da susceptibilidade erosiva de uma bacia hidrográfica. Dessa forma, o presente capítulo teve como objetivo caracterizar morfometricamente a sub-bacia hidrográfica do ribeirão Cachimbal, Pinheiral, RJ, a fim de identificar os riscos de degradação. Foi gerado o modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC) através das cartas topográficas dos municípios de Volta Redonda (Folha SF-23-Z-A-V-2) e Pirai (Folha SF- 23-Z-VI-1), utilizando o software ArcGis 10.2. A caracterização morfométrica foi realizada sob o MDEHC e baseada em critérios da literatura. Observou-se que os atributos morfométricos podem ser considerados como condicionantes na formação de processos erosivos e que estão distribuídos de forma heterogênea. A sub-bacia possui área total de 104,15 km², perímetro de 63,41 km, com comprimento do canal principal de 21,79 km e rede de drenagem de 5ª ordem, com padrão dendrítico; Kc de 1,74; Kf de 0,34, IC de 0,33; que indicam que a sub bacia não apresenta propensão a enchentes, pois possui formato alongado. Os valores encontrados para Dd foram de 2,60 km/km² e a para Dh de 5,5 canais/km², o que classificou a área com Dd muito boa e Dh com elevado potencial para gerar novos canais. Foi verificado que a área possui vertentes íngremes, com declividade e Ir elevados. Dessa forma, o escoamento superficial na sub-bacia ocorre de forma lenta e a formação de processos erosivos ocorre gradualmente. Apesar do CR indicar aptidão agrícola para agricultura, o Ir verificado demonstra a necessidade da adoção de um conjunto de práticas agrícolas mais adequadas, levando em consideração as particularidades da área, com destaque para as variações do relevo e características do solo associadas à paisagem. O método utilizado mostra-se adequado e de alta praticidade, podendo ser empregado em estudos em outras localidades.

Palavras - chave: Fatores topográficos, análise morfométrica, erosão, manejo de bacias hidrográficas.

ABSTRACT

The catchment sub-basin of the Cachimbal stream covers the municipality of Pinheiral-RJ, which has 88% of its classified area with high erosive potential. The morphometric characterization is considered as a basic tool to evaluate the geometric, geomorphological, drainage network and consequently, to understand the erosive susceptibility of a river basin. Thus, the present work aimed to characterize morphometrically the sub-basin of the Cachimbal stream, Pinheiral, RJ, in order to identify the degradation risks. The digital hydrological model (MDEHC) was generated through topographic maps of the municipalities of Volta Redonda (Folha SF-23-ZAV-2) and Piraí (Folha SF-23-Z-VI-1) using the software ArcGis 10.2. Morphometric characterization was performed under MDEHC and based on literature criteria. It was observed that the morphometric attributes can be considered as conditioning factors in the formation of erosive processes and that they are distributed heterogeneously. The sub-basin has a total area of 104,15 km², a perimeter of 63.41 km, with a main channel length of 21.79 km and a 5th-order drainage network with dendritic pattern; Kc of 1.74; Kf of 0.34, IC of 0.33; which indicate that the sub basin is not prone to floods because it has an elongated shape. The values found for Dd were 2.60 km / km² and a Dh of 5.5 channels / km², which classified the area with very good Dd and Dh with high potential to generate new channels. It was verified that the area has steep slopes, with slopes and high Ir. Thus, the surface flow in the sub-basin occurs slowly, and the formation of erosive processes occurs gradually. Although the Rc indicates agricultural suitability for agriculture, the Ri verified demonstrates the need to adopt a set of agricultural practices more appropriate, taking into consideration the particularities of the area, highlighting the variations of the relief and soil characteristics associated with the landscape. This method is suitable and highly practical and can be used

Keywords: Topographic factors, morphometric analysis, erosion, watershed management.

1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é definida como área formada por um conjunto de superfícies e de uma rede de drenagem composta por cursos d'água que convergem até um único ponto de saída, o exutório. (SILVEIRA, 2001; VALLE JUNIOR et al., 2012), sendo considerada unidade apropriada para se avaliar os impactos provenientes da ação antrópica. Os impactos podem influenciar no solo e na quantidade e qualidade da água (BARUQUI & FERNANDES, 1985; ABDALA et al., 2005, 2012).

A caracterização morfométrica é uma das ferramentas utilizadas para compreender os processos hidrológicos, características da geomorfologia, formas de uso e ocupação do solo e conseqüentemente o padrão dos impactos ambientais em uma bacia hidrográfica. Através dessa ferramenta é possível conhecer indicadores de uma determinada área, com a finalidade de se avaliar as alterações ambientais (SIQUEIRA et al., 2012).

Para a realização da caracterização morfométrica e conseqüentemente obtenção dos parâmetros calculáveis, faz-se necessária utilização de métodos quantitativos (ALVES & CASTRO, 2003). Nesse contexto, o método quantitativo se baseia na determinação dos parâmetros: coeficiente de compacidade (Kc), índice de circularidade (IC), coeficiente de forma (Kf), densidade de drenagem (Dd), densidade hidrográfica (Dh), coeficiente de rugosidade (CR), índice de rugosidade (Ir) CHRISTOFOLLETTI (1969, 1970 e 1974), ROCHA & KURTS (2001); CARDOSO et al. (2006); VILLELA & MATTOS (1975); MACHADO et al. (2011), SANTOS et al. (2012) e FERRARI et al. (2013).

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) auxilia como um método para se obter os registros das ações antrópicas em escala temporal, contribuindo com diagnósticos para o uso do solo e para a preservação ambiental (REIS et al., 2015). O SIG é a ferramenta mais utilizada para a realização do cálculo dos parâmetros morfométricos, sendo que esses parâmetros podem ser utilizados para determinar o formato da área, sua susceptibilidade a enchentes e erosão, forma do relevo e aptidão agrícola para a área.

Diante disso, o presente capítulo teve como objetivo caracterizar morfometricamente a sub-bacia hidrográfica do ribeirão Cachimbal, Pinheiral, Rio de Janeiro, a fim de se identificar os riscos à degradação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Bacia hidrográfica

Existem definições distintas para bacia hidrográfica (STRAHLER, 1952; LIMA 1989; CHRISTOFOLLETTI, 1999; GUERRA & CUNHA, 1995; FAUSTINO 1996; ATTANASIO, 2004; BARRELA et al., 2007). Porém em sua maioria, os conceitos são similares, sempre tomando como base a área de concentração de uma rede de drenagem. Neste contexto SILVEIRA (2001) define bacia hidrográfica como a área de captação natural da água da chuva, compreendida por uma rede de drenagem e um conjunto de superfícies vertentes. Uma bacia hidrográfica pode ser seccionada em sub-bacias e microbacias (SOUZA et al., 2013).

Assim como as bacias hidrográficas, as sub-bacias e as microbacias possuem diferentes definições. As sub-bacias são definidas de maneira geral como bacias menores, geralmente de alguma afluente do rio principal (MACHADO 2002; FAUSTINO, 1996; MOSCA, 2003; SANTANA, 2003; TEODORO et al., 2007), e as microbacias como unidades menores, formadas por canais de primeira e segunda ordem, devendo ser definida como base na dinâmica de processos hidrológicos, geomorfológicos e

biológicos (ATTANASIO, 2004; SANTANA, 2003; SANTOS et al., 2013). Já SOUZA & FERNANDES (2000) afirmam que o termo microbacia é uma denominação empírica, referindo-se às dimensões geofísicas limitadas pelos divisores de água, inferindo uma ordem de grandeza. Segundo MARTINS et al. (2005), as sub-bacias possuem áreas entre 200 km² e 300 km², o que diverge da consideração de FAUSTINO (1996), que relata áreas maiores que 100 km² e menores que 700 km². Uma bacia hidrográfica possui como elementos topográficos divisores de água, nascentes, afluente, meandros, delta e foz.

As bacias hidrográficas são consideradas unidades de trabalho fundamentais devido aos diferentes aspectos que as caracterizam, principalmente no que diz respeito aos recursos naturais. Considera-se então que o entendimento da sua dinâmica depende dos seus aspectos. Nesse contexto são considerados como aspectos para compreender o padrão de uma bacia hidrográfica: a cobertura vegetal presente, o relevo compreendido pela bacia, o tempo de retorno das chuvas, as faces de exposição, a superfície de curvatura, os solos predominantes, forma da bacia, entre outros.

Para CARDOSO et al. (2006) e SILVA et al. (2014) a análise desses aspectos envolve características de clima, geomorfologia, solo, vegetação, deflúvio e evapotranspiração, com o que se pode quantificar os processos hidrológicos da bacia e correlacioná-los com as diferentes variáveis, quantidade e qualidade da água, assim como sua dinâmica.

2.2 Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas

Através da literatura na qual o tema é abordado, verificou-se que os termos: análise morfométrica, caracterização morfométrica e caracterização física, são os mais utilizados para o estudo da morfometria de bacias hidrográficas. Desse modo, a fim de estabelecer um conceito como padrão, adotou-se a caracterização morfométrica.

A caracterização morfométrica é definida como uma análise quantitativa do arranjo dos elementos do modelado superficial que geram sua expressão e configuração espacial: o conjunto das vertentes e canais que compõem o relevo, sendo os valores medidos correspondentes aos atributos desses elementos (CHRISTOFOLLETTI, 1999).

A caracterização morfométrica é interpretada a partir da leitura da bacia hidrográfica, que tem como elementos, a própria bacia, a rede de drenagem e o arranjo das vertentes. Os quais correlacionados entre si formam os parâmetros morfométricos (CHEREM, 2008).

Considera-se que um dos maiores desafios da análise hidrológica está na caracterização morfométrica e no delineamento da rede hidrográfica de uma determinada bacia (RIBEIRO & FERREIRA 2014). Segundo MORISAWA (1958); JAIN & SINHA (2003); IFABYI (2011) e ROCHA et al. (2014) as características geomorfológicas de uma bacia desempenham papel essencial no controle hidrológico de bacias.

Nas análises hidrológicas que têm como objetivo auxiliar as questões voltadas para a dinâmica ambiental, a caracterização morfométrica é considerada o procedimento mais simples a ser executado (TEODORO et al., 2007).

Dessa forma os parâmetros morfométricos de uma bacia hidrográfica são: área total; perímetro total; coeficiente de compactidade (kc); coeficiente de forma (kf); índice de circularidade (IC); declividade (mínima, média e máxima); coeficiente de rugosidade (CR); amplitude altimétrica, altitude (mínima, média e máxima); declividade média do curso d'água principal; comprimento do curso d'água principal; comprimento total dos cursos d'água; densidade de drenagem (Dd); densidade hidrográfica (Dh); ordem dos cursos d'água e índice de rugosidade (Ir). Tais parâmetros são resultados da relação

entre esses atributos e o relevo de uma bacia, sendo agrupados em características geométricas, geomorfológicas e rede de drenagem. Segundo TONELLO (2005) os atributos geométricos abordam as características relacionadas às dimensões da bacia; os geomorfológicos tratam do relevo, além de correlacioná-lo à rede de drenagem e à bacia hidrográfica; a rede de drenagem trata somente dos atributos da drenagem.

De acordo com VILLELA & MATTOS (1997) e SOUZA et al. (2014) as características geométricas são fundamentais na determinação do tempo de concentração da precipitação até o exutório (saída) da sub-bacia, visto que elas determinam a forma superficial, condicionando desta forma, a concentração de água no interior da área.

Os parâmetros supracitados atuam como indicadores físicos, qualificando as alterações ambientais de um determinado local (ALVES & CASTRO, 2003).

2.3O uso do sistema de informação geográfica (SIG) como ferramenta para o processamento digital de imagens

2.3.1 Histórico e uso do SIG

O SIG é tomado como uma geotecnologia em constante evolução. A geotecnologia é definida como um conjunto de técnicas que são coletadas, processadas analisadas e colocadas à disposição com referência geográfica. Para PREZENTE (2011) geotecnologia é o conceito dado aos estudos com as tecnologias de informação.

De acordo com BEZERRA et al. (2011) e SILVA et al. (2014) a geotecnologia é uma ferramenta influente para obtenção de variáveis ambientais, pois através delas torna-se possível a abrangência de análises de grandes áreas, a periodicidade das informações, a vantagem de se monitorar áreas remotas e, conseqüentemente, de difícil acesso, e a espacialização das informações.

A utilização do SIG se deu através do advento de novas tecnologias, que desde a década de 50, quando se teve início à automação dos processos de informação, vem sendo atualizados constantemente. OLIVEIRA (2011) relata que o primeiro SIG foi criado nos anos 60 e tinha como finalidade a classificação dos recursos naturais e atuar como um recurso no planejamento estratégico. Segundo LANG & BLASCHKE (2009), posteriormente já nos anos 80, o conceito de SIG ganhou forte enriquecimento metodológico. Para GREGORY & ELL (2009) o Environmental Systems Research Institute (ESRI), foi responsável por grande contribuição na pesquisa e desenvolvimento de softwares para SIGs que tinham como base PCs e o conceito de praticidade operacional.

O princípio do SIG consiste em armazenar a geometria e os atributos dos dados que estão georreferenciados em uma projeção cartográfica (ASSAD, 1998). Para OLIVEIRA (2011) o SIG trata os elementos gráficos como às unidades básicas para a coleta de dados e os atributos como as informações que as caracterizam. GREGORY & ELL (2009) e OLIVEIRA (2011) definem o SIG como pacote computacional que foi criado para representar as informações geográficas e permitir que possamos controlar essas informações através da integração entre os dados espaciais e um sistema de banco de dados, sendo um sistema composto basicamente por hardware, software e dados.

Segundo BARROSO & ABREU (2003) investigar fatos geográficos significa buscar conhecer o modo pelo qual a sociedade produz o espaço geográfico, uma vez que, a todo o momento, esse espaço está sofrendo modificações e reduções geradas pela evolução e crescimento da população e das atividades humanas.

Para TONELLO (2005) e SOUZA et al. (2013) o SIG é considerado a principal ferramenta para ser utilizado na caracterização morfométrica de bacias hidrográficas, considerando-o como uma excelente plataforma computacional.

Atualmente é possível extrair informações hidrológicas de maneira que os custos e a subjetividade sejam reduzidos no processo de extração de informações. O SIG atua como uma das ferramentas mais eficazes para o processamento e gerenciamento de dados (RIBEIRO & FERREIRA, 2014).

2.3.2 Modelo digital de elevação (MDE)

Entende-se MDE como uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de qualquer região da superfície terrestre. Cada pixel representa a resolução espacial da imagem, definindo a escala do trabalho (MENEZES & COELHO NETO, 2003; CHEREM, 2008). Para ARAÚJO (2006) e PINHEIRO (2006) um MDE ter consistência geomorfológica e hidrológica, a imagem matricial deve representar as feições geomorfológicas, como por exemplo: os talwegues, divisores de água e as feições topográficas.

Os radares são definidos como sensores ativos que emitem pulsos na região das microondas do espectro eletromagnético, essa faixa por sua vez é subdividida em bandas segundo o comprimento de onda, onde os comprimentos de onda mais longos possuem maior capacidade de penetração na vegetação do que os comprimentos de onda mais curtos (ALVES et al., 2009). O mesmo autor relata que o constante aperfeiçoamento das técnicas de interferometria por radar gerou pontos positivos na produção de modelos de elevação.

O uso de radares interferométricos consiste em uma alternativa às técnicas convencionais fotogramétricas para geração de mapas topográficos com alta resolução, tendo como vantagem o fato de utilizar dados obtidos por radar de abertura sintética, que possuem a capacidade de operação durante dia e noite, e também sobre qualquer condição climática (HENDERSON et al., 1998).

O Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) disponibiliza gratuitamente seus dados em escala global através da United States Geological Survey (USGS). De acordo com RABUS et al. (2003) e SOUZA et al. (2013) o radar SRTM, gerou imagens a partir de dados de altimetria estereoscópica de 80% da superfície terrestre com resolução espacial de um arco segundo para os Estados Unidos e três arcos segundo para o restante do mundo e com uma amplitude de grade 30 metros para o SRTM 1 e 90 metros para o SRTM 3, projetados para uma acurácia vertical e horizontal absoluta de 16 e 20 metros, respectivamente, com 90% de confiança.

O MDE é gerado através de dados topográficos extraídos de cartas topográficas e de dados de radares interferométricos (sensores remotos) (JARVIS et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2010). Cada forma de se obter um MDE possui vantagens e desvantagens técnicas e necessitam de tratamento específico (VALERIANO, 2002; PINTO et al., 2004; JARVIS et al., 2004; PINHEIRO, 2006; NIKOLAKOPOULOS et al., 2006; DUARTE & ASSAD, 2007; CHEREM, 2008).

2.3.3 Modelagem de dados geográficos

No SIG para que se possa trabalhar com dados espaciais, os dados devem ser representados por um modelo computacional. Nesse contexto GOODCHILD (1993) considera a definição para modelagem de dados geográficos como o processo que converte a realidade geográfica complexa em um número finito de registros.

Segundo OLIVEIRA (2011) a modelagem deve considerar que os processos da natureza resultam de interações espaço-temporais complexas entre os diversos

elementos que os compõem, ou seja, as propriedades ambientais. No modelo matemático de um processo, as propriedades ambientais são tratadas como variáveis do modelo (FELGUEIRAS, 1999).

Os modelos ambientais são usados para aumentar o conhecimento sobre um processo, prever valores ou comportamentos em áreas não observadas e comprovar, ou não, hipóteses feitas sobre processos. Os modelos são considerados como híbridos, já que são classificados em três categorias: empírico; conceitual; e baseado em processos físicos (PRUSKI, 2009). Os modelos empíricos têm por princípio representar respostas para o observado. Já os modelos conceituais tendem a incluir uma descrição geral dos processos, sem exibir detalhes específicos da interação dos dados. Os modelos de base física baseiam-se na solução de equações físicas (FELGUEIRAS, 1999). Para PRUSKI (2009) os modelos empíricos são muitas vezes criticados por adotarem suposições irreais sobre a física do sistema, ignorando a heterogeneidade das contribuições e das características de determinada área. Dessa forma cada modelo atende a um propósito, não havendo um modelo geral.

2.4 Manejo de bacias hidrográficas através da caracterização morfométrica

O histórico do uso e ocupação em áreas de bacias hidrográficas é fundamental para que se tenha conhecimento da real situação do meio no qual a bacia está inserida e de certa forma para que haja a tomada de medidas necessárias de modo que ocorra o equilíbrio entre a exploração dos recursos naturais e a preservação do meio ambiental. Em seu estudo VASCO et al. (2011) relataram que a constante utilização dos recursos naturais está diretamente relacionada com o crescimento populacional acelerado, expansão das áreas agrícolas e intensa urbanização.

Quando as mudanças ambientais não são planejadas, podem vir a comprometer o ciclo dos sistemas naturais. De acordo com GUERRA & MARÇAL (2006) algumas ações antrópicas têm acelerado os processos de degradação ambiental, como a erosão, a lixiviação, o desmatamento, assentamentos e os movimentos de massa.

A conservação e a utilização consciente da água são essenciais para o ciclo de vida. Cerca de dois terços da superfície terrestre está ocupada por água, porém 98% da água disponível no planeta são de origem marítima, ou seja, imprópria para consumo (MARENGO, 2008). O mesmo autor afirma que a água possui distintas finalidades, dentre elas: abastecimento doméstico e industrial, agricultura, lazer e geração de energia.

Segundo DOMINGUEZ (2008), as bacias hidrográficas são submetidas constantemente à implantação inadequada de novas técnicas de uso do solo. Atividades irregulares como: extração madeireira, disposição incorreta de resíduos domésticos e industriais, aterramento e construção em leitos de rios, só catalisam o processo de degradação ambiental e de certa forma expõem a ausência de ordenamento do território.

O uso dos recursos hídricos deve apresentar como prioridade a satisfação das necessidades básicas e da proteção dos ecossistemas. Desse modo, o manejo de bacias hidrográficas pode ser entendido, como uma estratégia de planejamento de uso dos recursos naturais renováveis, tomando como passo inicial para ação de manejo o conhecimento de uso da terra, as características hidrológicas e geomorfológicas (SOUZA et al., 2012). Em outras palavras o manejo consiste no conjunto de atividades técnicas, capazes de aproveitar e conservar os recursos naturais, em busca de um equilíbrio entre os fatores sociais, econômicos e ambientais. Para seu alcance é necessário desenvolver a capacidade de gestão de todos os níveis hierárquicos que se relacionam com a bacia (FAUSTINO, 1996; SOUZA et al., 2012). LIMA (1986)

considera o manejo de sub-bacias uma estratégia globalizante do uso dos recursos naturais renováveis.

Para COSTA (1987), existem duas vantagens de se realizar um manejo integrado em sub-bacias. Uma consiste no fato do manejo ser realizado utilizando os limites naturais da bacia, não necessitando de demarcação artificial da área. A outra vantagem considerada é a tentativa de conscientizar a população que habita a sub-bacia da necessidade de conservar os seus recursos.

Os estudos direcionados ao manejo de bacias hidrográficas envolvem o geoprocessamento e o sensoriamento remoto, visto que esses detêm de alta precisão e executam o trabalho em tempo real, considerando o comportamento espacial do uso do solo. Como mencionado anteriormente os SIGs são considerados ferramentas fundamentais, pois possibilitam a geração de mapas do comportamento espacial de atributos físicos do solo com alto nível de precisão, e possibilitam a criação de cenários futuros para fins de manejo do solo e da água em bacias.

A caracterização morfométrica é vista como um dos principais procedimentos executados em análises ambientais, que visam adotar o manejo ideal para uma bacia hidrográfica (MAGESH et al., 2010; GUEDES & SILVA, 2012; SANTOS et al., 2012; FERRARI et al., 2013; ROCHA et al., 2014).

Analisando a bacia hidrográfica do ribeirão da Marcela na região Alto do Rio Grande – (MG), GOMES (2005), verificou a inexistência de práticas de manejo conservacionista, tendo adoção de queimadas para fins de limpeza da área, ausência de mata ciliar ao longo da rede de drenagem, pouca cobertura vegetal nas proximidades das nascentes e pisoteio do gado nas áreas de pastagem e próximo aos locais de consumo de água. O autor supracitado afirma que o gado pode compactar o solo da área das nascentes, dificultando o processo de infiltração e alterando as condições de escoamento superficial, o que compromete a capacidade de produção hídrica da bacia ao longo do ano.

Nesse contexto pode se observar a dependência da humanidade pelos recursos naturais e que a adoção de práticas de manejo é fundamental para evitar a degradação da bacia hidrográfica.

2.4.1 O Município de Pinheiral– RJ

O município de Pinheiral (RJ) localiza-se na região do Médio Vale do Paraíba do Sul e está inserido no domínio do Bioma da Mata Atlântica sob a formação florestal denominada Estacional Semidecidual. O município apresenta-se atualmente, como consequência do histórico de ocupação e uso de suas terras, com apenas 18 % de seu território sob cobertura florestal nativa em diferentes níveis de alteração e regeneração (Fundação SOS Mata Atlântica & INPE, 2002). Dentre os municípios do vale do rio Paraíba do Sul com problemas de erosão e degradação das terras, o município destaca-se, com 88% de sua área estando nas classes de alta ou muito alta vulnerabilidade à erosão, o maior índice entre todos os municípios fluminenses (CEIVAP, 2002).

O estudo realizado pelo Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP, 2002), indica que o trecho entre as estações de medição de sedimentos de Volta Redonda e Barra do Piraí, no qual o município de Pinheiral (RJ) é compreendido, detecta-se como a segunda maior produção específica de sedimentos ($588,8 \text{ Mg km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$), sendo que parte da produção, estimada em $680.800 \text{ Mg ano}^{-1}$, está sendo transferida para o Sistema Light/Guandu, que responde pela energia consumida por mais de 3 milhões de pessoas e pela água de 9 milhões no estado do Rio de Janeiro. É fato que esta elevada taxa de erosão é decorrência da baixa cobertura florestal da região. Considera-se que grande parte dos sedimentos produzidos é

decorrente de áreas onde a vegetação natural foi removida e hoje se observam predominantemente áreas de pastagem em diferentes estágios de degradação, fragmentos florestais e, por muitas vezes, a ocorrência de voçorocas. Além das ações antrópicas, aspectos da paisagem em especial a extensão e forma da pendente (côncava, convexa ou plana), podem influenciar os processos de degradação.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área de estudo

O estudo foi realizado no município de Pinheiral-RJ, na sub-bacia do ribeirão Cachimbal, que está inserida na região do Médio Paraíba Fluminense e compõe a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. Situa-se entre as latitudes 22°29'03''S e 22°35'27''S e entre as longitudes 43°54'49'' W e 44°04'05''W (Figura 3).

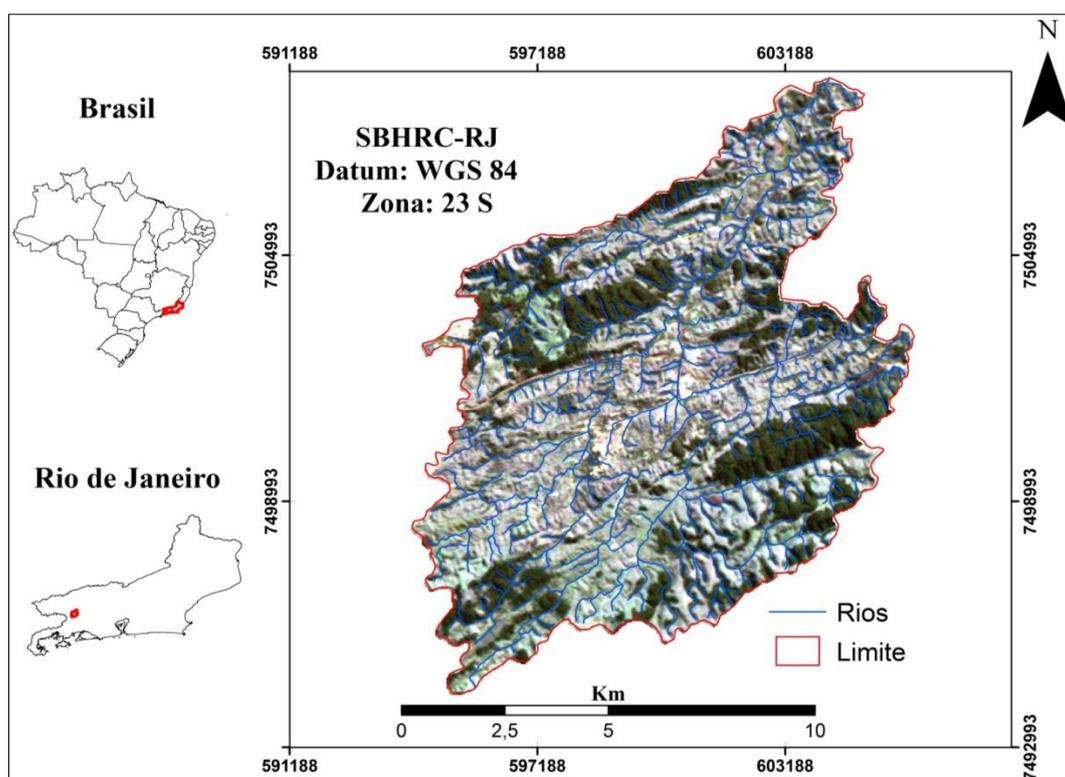


Figura 2. Sub-bacia hidrográfica do ribeirão Cachimbal, Pinheiral - RJ. Fonte: Adaptado de Santos (2014).

3.2 Caracterização do meio físico

3.2.1 Clima

Segundo KOPPEN (1948) o clima é classificado como Cwa - clima temperado de inverno seco e verão chuvoso, e Am - clima tropical chuvoso com inverno seco. Na classificação de THORNTHWAITE & MATHER (1955) o clima é úmido, com pouco ou nenhum déficit hídrico, megatérmico, com calor distribuído ao ano.

3.2.2 Geologia

Para OLIVEIRA (1998) e SANTOS (2009) predominam as rochas metamórficas orto e paraderivadas de alto grau metamórfico, tendo como principais rochas os gnaisses porfiroclásticos, biotita-gnaiss, muscovita-biotita-gnaiss e as intrusões diabásicas. O autor define o gnaiss porfiroclástico como um gnaiss fino bandeado com saprolítico, e

possui sua mineralogia composta por feldspatos potássicos, quartzo, biotita e plagioclásio. A biotita gnaisse tem como composição mineralógica base a biotita, plagioclásio, quartzo e microclina. Já a muscovita-biotita-gnaisse possui mineralogia composta por feldspato potássico, muscovita e quartzo. As intrusões diabásicas são afloramentos de pequeno tamanho, composta por plagioclásio, piroxênio e minerais opacos.

3.2.3 Geomorfologia

A formação morfo-estrutural da sub-bacia estudada é delimitada pelo delineamento estrutural no sentido Sudoeste-Nordeste (SANTOS, 2014). AB'SABER (1996,1997) afirma que isso explica o relevo acidentado que caracteriza a feição geomorfologia da região, conhecida como “Mar de Morros” (Figura 4).



Figura 3. Região de Mar de Morros. Fonte: Marcos Gervasio Pereira (2015).

A região possui uma rede de drenagem diversificada, pois está compreendida em sua área as seguintes feições geomorfológicas: bancadas arenosas, várzeas ou planícies de inundação, terraços fluviais, terraço alúvio-coluvionar, rampas de colúvio, colinas estruturais aplainadas, colinas estruturais isoladas, encostas de tálus, encostas estruturais dissecadas, encostas adaptadas a falhamentos, vales estruturais, interflúvios estruturais e canais meandantes. (OLIVEIRA, 1998).

3.2.4 Relevo

Possui uma amplitude altimétrica de 360 metros, com altitude variando de 360 metros, na foz do ribeirão Cachimbal, até 720 metros na serra do Arrozal (OLIVEIRA, 1998). Na área de abrangência da sub-bacia predominam encostas com declividades variadas (72,0 %), poucas áreas de topos de morros aplainados (5,7 %) e várzeas estreitas (22,3 %) nos vales estruturais da bacia e às margens de seu canal principal (OLIVEIRA, 1998; MENEZES, 2008; SANTOS 2009; SANTOS, 2014).

3.2.5 Vegetação

A região está inserida no Bioma da Mata Atlântica, com vegetação original denominada de Floresta Estacional Semidecidual Submontana (IBGE, 1992; CONAMA, 1996).

No período colonial, as matas nativas foram substituídas pela cultura do café, no entanto com o passar dos anos as áreas tomadas pelo café foram sendo abandonadas ou substituídas por pastagens (MENEZES, 1999; SANTOS, 2009). Segundo MENEZES (2008), atualmente a cobertura vegetal dominante na região é constituída por pastagens, implantadas e espontâneas não manejadas, que se apresentam em diferentes estágios de degradação, nível de uso e ou abandono, dando origem às demais formas de vegetação da área, como os pastos sujos e as capoeiras com diferentes estágios sucessionais.

3.2.6 Solos

Os solos predominantes na sub-bacia do ribeirão Cachimbal são: na encosta os Argissolos Vermelho-Amarelos e Cambissolos Hálicos, e no topo e terço superior da encosta os Latossolos Vermelho-Amarelos (OLIVEIRA, 1998; MENEZES, 2008; COSTA et al., 2016).

3.3 Atributos Morfométricos

Para a determinação dos atributos morfométricos utilizou-se as cartas topográficas dos municípios de Volta Redonda (Folha SF-23-Z-A-V-2) e Pirai (Folha SF-23-Z-VI-1), obtidas no IBGE na escala de 1:50.000. A partir destas foi gerado o Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial de 10 m na escala de 1:100.000, por intermédio do ArcGIS 10.2.

A partir do MDE geraram-se os mapas de altimetria, declividade, superfície de curvatura, orientação das vertentes, radiação solar e ordem dos cursos d'água e foi realizada a caracterização morfométrica.

3.3.1 Declividade

Define-se declividade como o ângulo de inclinação da superfície local em relação a um plano horizontal, influenciando diretamente na pedogênese, condicionando o potencial de erosão, a infiltração e retenção de água no solo (GALLANT & WILSON, 2000; SCHIMIDT et al., 2003; PINHEIRO, 2012). A classificação da declividade foi baseada em EMBRAPA (1999) e SOUZA et al. (2013), como pode ser observado na Tabela 1.

O mapa que representa a declividade foi obtido utilizando o módulo “*Spatial Analyst Tools: Surface: Slope*”, do ArcGis v.10.2.

3.3.2 Superfície de Curvatura

A superfície de curvatura pode se apresentar com valores negativos, representando a superfície côncava, valores iguais, uma superfície plana e valores positivos, uma superfície convexa.

De acordo com SCHIMIDT et al. (2003) e SOUZA (2013) a superfície que corresponde as curvaturas côncava e convexa do terreno está relacionada aos materiais orgânicos, nutrientes e aos processos de fluxo e acúmulo de água no solo, sendo classificadas em côncava ($<-0,3$), plana ($-0,3$ a $+0,3$) e convexa ($>+0,3$). Em contrapartida ESRI (1994) classifica a superfície onde o relevo é moderado em côncava para valores menores que $-0,5$, plana para valores entre $-0,5$ e $0,5$ e convexa para valores maiores que $0,5$; comportamento distinto ao observado para relevo movimentando, com variação de -4 a 4 . Desse modo, para o presente estudo foi

considerada a seguinte classificação: côncava ($<-0,3$), e convexa ($>-0,3$), visto que no processo em que MDE é gerado, o software considera a superfície da curvatura convexa retilínea, classificando-a como plana.

A superfície de curvatura foi gerada no módulo “*SpatialAnalyst Tools: Curvature*”, do ArcGis v.10.2.

Tabela 1. Enquadramento do relevo a partir das características topográficas.

Classe de relevo	Características do relevo
Plano	Superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, com declividades de 0 a 3%.
Suave ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjuntos de colinas e/ ou outeiros (elevações de altitudes relativas até 50 m e de 50 a 100 m, respectivamente), apresentando declives suaves. Predominantemente variáveis de 3 a 8 %.
Ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas, apresentando declives moderados, predominantemente variáveis de 8 a 20 %.
Forte ondulado	Superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros (elevações de 50 a 100 m e de 100 a 200 m de altitudes relativas, respectivamente) e raramente colinas, com declives fortes, predominantemente variáveis de 20 a 45%.
Montanhoso	Superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes e muito fortes, predominantemente variáveis de 45 a 75 %.
Escarpado	Áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes e escarpamentos, tais como: aparados, frentes de cuestas, falésias, vertentes de declives muito fortes, usualmente ultrapassando 75 %.

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (1999) e SOUZA et al. (2013).

3.3.3 Orientação das vertentes

A orientação das vertentes é entendida com a direção da declividade, medida a partir do norte aumentando em sentido horário, com variação de 0° a 360° (ESRI, 1994; PINHEIRO, 2012). Para SANTOS (2014) define-se como a medida do ângulo horizontal da direção esperada do escoamento superficial, expressa em azimute, variando de 0° a 360° . O conhecimento da orientação das vertentes é muito importante para entender o comportamento da vegetação, do solo, das faces de exposição, radiação solar, temperatura e umidade (CARVALHO JUNIOR, 2005; MARQUES et al., 2005; PINHEIRO, 2012).

A sua classificação foi realizada tomando como referência CALDAS (2006), conforme Tabela 2:

O mapa para a representação da orientação foi obtido no módulo “*SpatialAnalyst Tools: Surface: Aspect*”, do ArcGis v.10.2.

Tabela 2. Classes de orientação com suas respectivas variações.

Orientação	Variações
Norte	(0°-22,5° e 337,5°-360°)
Nordeste	(22,5°-67,5)
Leste	(67,5°-112,5°)
Sudeste	(112,5°-157,5°)
Sul	(157,5°-202,5°)
Sudoeste	(202,5°-247,5°)
Oeste	(247,5°-292,5°)
Noroeste	(292,5°-337,5°)

Fonte: CALDAS (2006).

3.3.4 Radiação Solar

Considera-se a radiação solar como toda a energia que alcança a superfície terrestre, através de ondas curtas (VIANELLO & ALVES, 2012; SANTOS, 2014). Ela é condicionada pela orientação das vertentes e pela declividade e atua influenciando diretamente os atributos edáficos de modo a fornecer energia para que os processos físicos e biológicos do solo ocorram. A radiação solar foi obtida de acordo com (FU & RICH, 1999) e classificada considerando as seguintes classes: < 1.500.000, 1.500.000 – 1.600.000, 1.600.000 – 1.700.000 e > 1.700.000 Watts.

O mapa da radiação solar foi obtido no módulo “*SpatialAnalyst Tools: Radiation: Area Solar Radiation*”, do ArcGis v.10.3. Para gerá-lo foram utilizados o MDE, a orientação das vertentes e a declividade.

3.4 Parâmetros morfométricos

O processo de caracterização foi conduzido de acordo com TONELLO (2005) e SOUZA et al. (2013), que propõem a divisão das características morfométricas em parâmetros, conforme a (Tabela 3):

Tabela 3. Características morfométricas de bacias hidrográficas.

Características Morfométricas	Parâmetros Morfométricos
Geométricas	Área Total
	Perímetro Total
	Coefficiente de Compacidade (Kc)
	Fator Forma (Kf)
	Índice de Circularidade (IC)
Geomorfológicas	Declividade mínima
	Declividade média
	Declividade máxima
	Altitude mínima
	Altitude média
	Altitude máxima
Rede de drenagem	Coefficiente de rugosidade (CR)
	Comprimento do rio principal
	Comprimento total dos cursos d’água
	Densidade de drenagem (Dd)
	Ordem dos cursos d’água da bacia
Densidade hidrográfica (Dh)	

Fonte: Adaptado de TONELLO (2005); TEODORO et al. (2007) e SOUZA et al. (2013).

A extração dos parâmetros morfométricos foi realizada sobre o MDE e gerado o módulo “*SpatialAnalystTools: MapAlgebra: RasterCalculator*”, utilizando o software ArcGIS 10.2. No entanto para obtenção dos parâmetros: Kc, Kf, IC, CR, Dd, Dh, Ir e ordem dos cursos d’água foi necessário se basear nas equações encontradas em CHRISTOFOLLETTI (1969, 1970 e 1974), ROCHA & KURTS (2001); CARDOSO et al. (2006); VILLELA & MATTOS (1997); MACHADO et al. (2011), SANTOS et al. (2012) e FERRARI et al. (2013), que são apresentadas a seguir:

O Kc relaciona a forma da bacia com um círculo e constitui a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia (CARDOSO et al., 2006; SOUZA et al., 2013). A equação 1 é utilizada para a determinação do Kc:

$$Kc = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

em que:

Kc – coeficiente de compactidade (adimensional)

P – perímetro da bacia, Km

A – área de drenagem, Km²

Para TONELLO et al. (2006) e TEODORO et al. (2007) o Kf é expresso como sendo a razão entre a largura média da bacia e o comprimento do eixo da bacia (L) (da foz ao ponto mais longínquo da área), conforme observa-se na equação 2:

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

em que:

L – comprimento do eixo da bacia, km

Para CARDOSO et al. (2006) e SOUZA et al. (2013), o IC possui comportamento similar ao Kc, visto que ele tende para a unidade à medida em que a bacia se aproxima da forma circular e diminui sempre que a forma se torna alongada. O cálculo do IC foi baseado em CHRISTOFOLLETTI (1974), conforme a equação 3:

$$IC = 12,57 * \frac{A}{P^2} \quad (3)$$

A Dd disponibiliza uma indicação da eficiência da drenagem da bacia, a relação entre o comprimento total dos cursos d’água de uma bacia e a sua área total. É uma boa indicação do grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem (CARDOSO et al., 2006). A Dd foi determinada conforme a equação 4:

$$Dd = \frac{\sum L}{A} \quad (4)$$

em que:

$\sum L$ – comprimento total dos cursos d’água, km

A Dd pode ser classificada conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Classificação da Dd de bacias hidrográficas.

Dd (km/km ²)	Classificação da Drenagem
<0,5	Pobre
0,5-1,5	Regular
1,5-2,5	Boa
2,5-3,5	Muito Boa
>3,5	Excepcionalmente Bem Drenada

Fonte: Adaptado de VILELLA & MATTOS (1997); BELTRAME (1994).

O coeficiente de rugosidade (CR) é utilizado para classificar a forma de uso da terra em bacias hidrográficas. Ele é obtido através do produto entre a densidade de drenagem e a declividade média da bacia, e foi determinado baseando-se em ROCHA & KURTS (2001), conforme é apresentado na equação 5:

$$CR = Dd * D_{\text{médio}} \quad (5)$$

em que,

$D_{\text{médio}}$ – Declividade média em m.

Os autores ROCHA & KURTS (2001) propõem quatro classes para a análise do CR, conforme são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Classificação determinada pelo coeficiente de rugosidade (CR) para uso dos solos.

Coeficiente de Rugosidade (CR)	Aptidão Agrícola
2,00	Agricultura
3,00	Agricultura
4,00	Agricultura
5,00	Pecuária
6,00	Pecuária
8,00	Pastagem/Florestamento
12,00	Florestamento.

Fonte: Adaptado de ROCHA & KURTS (2001); TORRES et al. (2011).

O índice de rugosidade (I_r) representa o enrugamento da superfície do solo, sendo caracterizada pelo conjunto das microelevações e microdepressões do terreno, especialmente distribuídas (CORREA et al., 2012; RAMOS et al., 2014). O índice de rugosidade combina as qualidades de declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem, expressando-se como número adimensional (ROCHA et al., 2014). Ele é resultado do produto entre a densidade de drenagem e a amplitude altimétrica da bacia, e foi determinado baseando-se em ROCHA & KURTS (2001), conforme é apresentado na equação 5:

$$I_r = Dd * H_m \quad (6)$$

em que:

H_m – Amplitude altimétrica (m).

A Dh é a relação entre o número de cursos d'água e a área de uma bacia hidrográfica. Foi determinada tendo como base a equação 7 apresentada em CHRISTOFOLETTI (1970) e classificada de acordo com LOLO (1995) (Tabela 6).

$$Dh = \frac{\text{número de cursos d'água}}{A} \quad (7)$$

Tabela 6. Classificação da Dh de bacias hidrográficas.

Dh (canais/km ²)	Classificação
<3	Baixa
3-7	Média
7-15	Alta
>15	Muito Alta

Fonte: Adaptado de LOLO (1995).

A ordem dos cursos d'água foi determinada após se aplicar na rede de drenagem a classificação estabelecida por STRAHLER (1952). Nessa classificação os cursos d'água originados de nascentes são considerados de primeira ordem; os canais surgem da confluência de dois canais de ordem iguais e tem valor de ordem atribuído a partir da adição de um ordinal na ordem dos cursos que o formam; e os canais que são gerados por cursos d'água de ordem diferentes mantêm-se a ordem de maior grau dos cursos de origem.

O mapa para a representação da ordem dos cursos d'água foi obtido no módulo “*SpatialAnalyst Tools: Hydrology: StreamOrder*”, do ArcGis v.10.2.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Descrição dos atributos e parâmetros morfométricos

Abaixo são apresentados os mapas de altimetria, declividade, superfície de curvatura, orientação das vertentes, radiação solar, ordem dos cursos d'água e os parâmetros morfométricos.

4.1.1 Altimetria

A Figura 5 apresenta a altimetria da área de estudo, variando de 360 a 744 metros. A elevada variação observada corresponde às características do relevo, que está inserido na região conhecida como “Mar de Morros”. Pode se considerar o relevo um dos principais atributos morfométricos condicionantes na dinâmica de uma bacia hidrográfica, atuando juntamente com a declividade, vertente de exposição, superfície de curvatura, nas condições de drenagem, distribuição dos atributos edáficos e vegetação (CALIL et al., 2012).

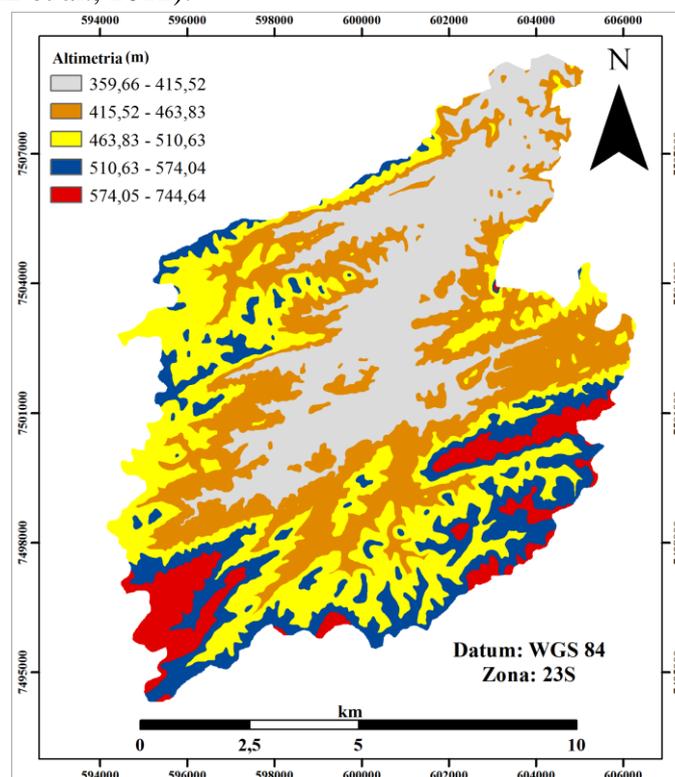


Figura 4. Mapa de altimetria da sub – bacia do ribeirão Cachimbal, Pinheiral-RJ

Na Tabela 7 é apresentada a distribuição da altimetria correspondente às classes altimétricas consideradas. Através da Tabela 8 verifica-se que a classe (415,52- 463,83) representa a maior porcentagem de área da sub-bacia totalizando 27,8 %, já o menor valor de área foi observado para a classe de (574,04 – 744,64), totalizando 6,2%.

Tabela 7. Distribuição da altimetria em classes.

Classes	Área (%)
(359,66 – 415,52)	26,4
(415,52 – 463,83)	27,8
(463,83 – 510,63)	25,7
(510,63 – 574,04)	13,9
(574,04 – 744,64)	6,2

4.1.2 Declividade

A Figura 6 mostra o modelo que representa a declividade e seu padrão para a sub-bacia. A declividade variou de 0% a 181,37% e apresentou predomínio das classes suave ondulada, ondulada e forte ondulada para a declividade, como pode ser observado na Tabela 8.

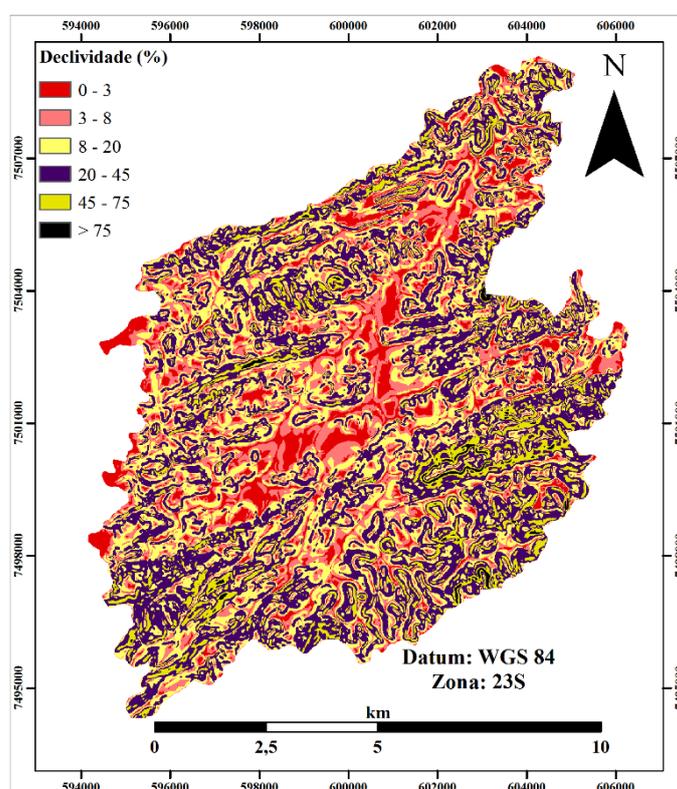


Figura 5. Mapa de declividade da sub - bacia do ribeirão Cachimbal, Pinheiral-RJ.

Tabela 8. Distribuição da declividade em classes.

Classes	Área (%)
Plano (0 a 3)	9,7
Suave Ondulado (3 a 8)	17,7
Ondulado (8 a 20)	28,5
Forte Ondulado (20 a 45)	34,8
Montanhoso (45 a 75)	8,8
Escarpado (> 75)	0,5

Fonte: Adaptado de SOUZA et al. (2013).

A declividade atua na movimentação da água na superfície, condicionando a velocidade do fluxo superficial e subsuperficial da água, e consequentemente o conteúdo de água no solo e o potencial erosivo. A declividade e a vegetação são

atributos fundamentais para se considerar na adoção do manejo para uma bacia hidrográfica, visto que a declividade condiciona a dinâmica da água e a remoção da vegetação reflete no surgimento de processos erosivos, levando a intensificação da degradação do ambiente (CARDOSO et al., 2006). Esse padrão pode ser constatado pelo número expressivo de voçorocas presentes na área estudada. O surgimento de voçorocas consiste na perda de solo que pode ser intensificada pela remoção da cobertura vegetal (SANTOS, 2014). Este processo tende a aumentar a perda de solo, à medida que a declividade e a energia cinética da precipitação aumentam (AMORIM et al., 2001).

Estudando a relação da declividade com o teor de carbono orgânico (C) no solo, SILVA et al. (2007), constataram que os teores de carbono orgânico, bem como o seu grau de humificação estão fortemente correlacionados com a declividade. Adicionalmente os autores verificaram que os teores de C orgânico apresentam elevada correlação negativa com a declividade.

4.1.3 Superfície de curvatura

Para o fator topográfico superfície de curvatura foi verificado que maior parte da área possui superfície plana, conforme observado na Figura 7 e Tabela 9.

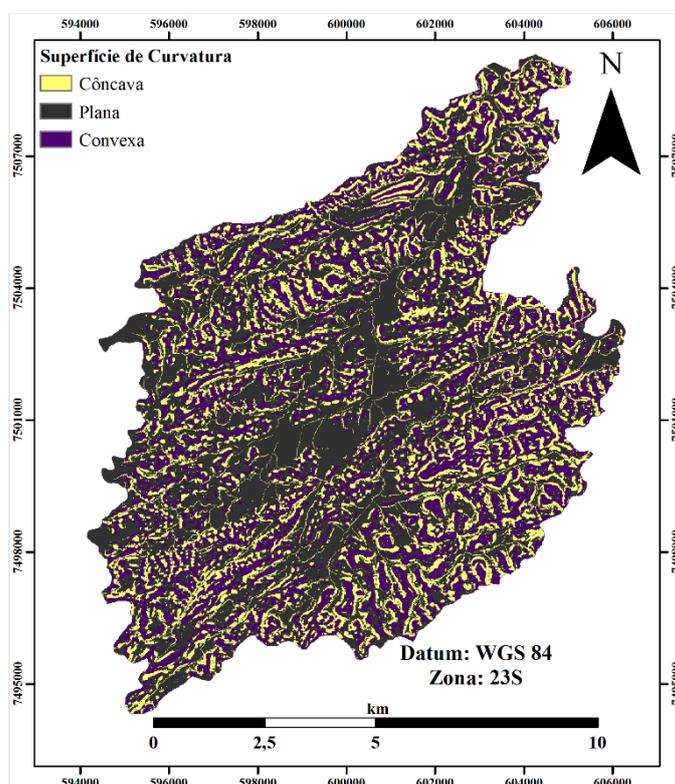


Figura 6. Mapa da superfície de curvatura da sub - bacia do ribeirão Cachimbal, Pinheiral-RJ.

A Tabela 9 apresenta as classes da superfície de curvatura e suas respectivas áreas.

Tabela 9. Distribuição da superfície de curvatura.

Classes	Área (%)
Côncava	19,1
Plana	59,3
Convexa	21,6

As três classes de superfície de curvatura compõem a topografia, porém contribuem de diferentes maneiras para os processos de acúmulos e regeneração da cobertura vegetal. Na superfície côncava ocorrem processos de acúmulo de água, sedimentos, minerais, matéria orgânica e regeneração espontânea devido ao microclima formando em seu interior. MONTANARI et al. (2005) verificaram que a superfície côncava possui acúmulo relativo de água, já que dispõe de um sistema aberto no seu interior. A superfície de curvatura convexa caracteriza-se por processos de escoamento superficial de água e sedimentos.

Analisando a Bacia Hidrográfica do Rio Guapi – Macacu, RJ, PINHEIRO (2012) verificou uma área de 46,09% correspondente à superfície convexa, 38,39% plana e 15,52% côncava, padrão diferente ao observado neste estudo, visto que as bacias estudadas se encontram em geomorfologias diferentes. Nas superfícies planas os processos de movimentação de água e sedimentos são menos intensos que nas demais superfícies.

4.1.4 Orientação de vertentes

Os resultados mostraram predomínio das classes noroeste e norte, respectivamente 17,2 % e 16,3 % da área, conforme Figura 8 e Tabela 10. A variação da orientação de vertentes associada à altimetria e a declividade, interfere no sombreamento causado pelas feições geomorfológicas, formando gradientes, que atuam na distribuição de energia e no fluxo de água (FU & RICH, 2000).

Para SIRTOLI et al. (2008) no hemisfério sul as encostas orientadas para o norte são superfícies com incidência de radiação mais elevada. O que corrobora com MARQUES et al. (2005), que estudando as encostas do Estado do Rio de Janeiro verificaram que as orientações para norte e nordeste são mais secas.

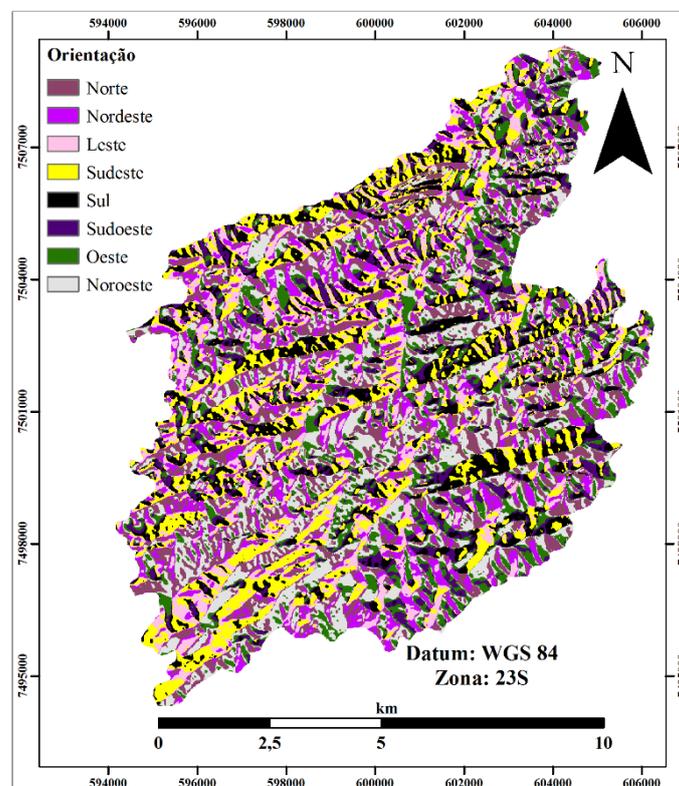


Figura 7. Mapa de orientação de vertentes da sub - bacia do ribeirão Cachimbal, Pinheiral-RJ.

Tabela 10. Distribuição da orientação de vertentes em classes.

Orientação	Área (%)
Norte	16,3
Nordeste	10,7
Leste	10,7
Sudeste	14,4
Sul	12,1
Sudoeste	7,4
Oeste	11,1
Noroeste	17,2

4.1.5 Radiação solar

A Figura 9 mostra o modelo que representa a incidência da radiação solar na sub-bacia do ribeirão Cachimbal. Verifica-se grande variação na porcentagem de área de incidência, com valores entre 63,4% e 6,4% (Tabela 11).

Para SANTOS (2014) essa variação ao longo da área possibilita o surgimento de zonas com diferentes umidades de solo. CHAMIE et al. (2011) e CALLEGARO et al. (2012) estudando a dinâmica de regeneração natural, observaram que a luminosidade proveniente da radiação solar é muito importante para a regeneração, pois influencia no desenvolvimento das plantas, catalisando todo o processo de crescimento.

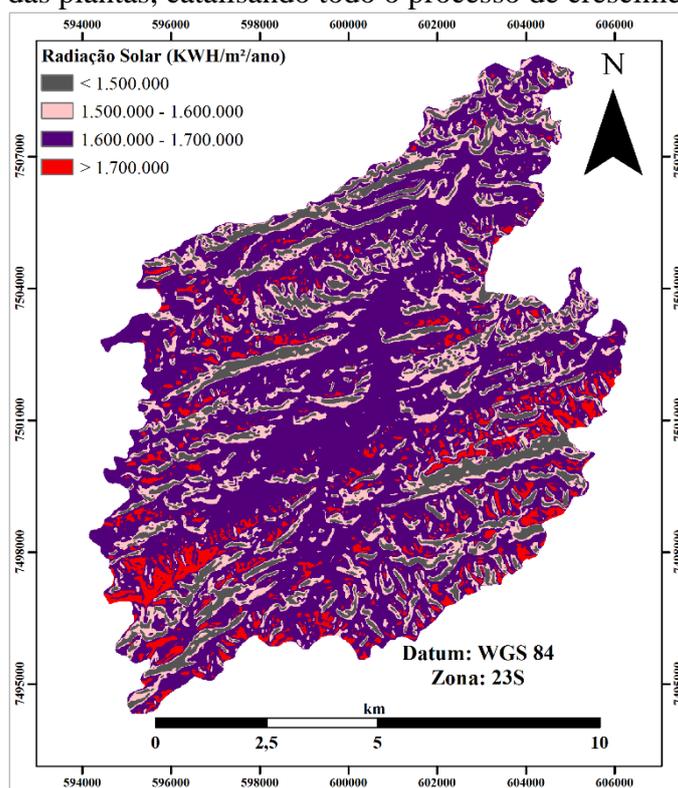


Figura 8. Mapa da radiação solar da sub-bacia de ribeirão Cachimbal, Pinheiral-RJ. A Tabela 11 apresenta a distribuição das classes para a radiação solar.

Tabela 11. Distribuição da radiação solar (KWh/m²/ano).

Classes	Área (%)
< 1.500.000	12,5
1.500.000-1.600.000	17,7
1.600.000-1.700.000	63,4
> 1.700.000	6,4

4.2 Parâmetros morfométricos

A seguir são descritos os resultados encontrados para os parâmetros morfométricos, conforme Tabela 12.

Tabela 12. Parâmetros morfométricos da sub-bacia do ribeirão Cachimbal, Pinheiral-RJ.

Parâmetros morfométricos	Unidade	Valores
Área	km ²	104,15
Perímetro	km	63,41
Fator forma (Kf)	----	0,34
Coefficiente de compacidade (Kc)	----	1,74
Índice de circularidade (IC)	----	0,33
Altitude mínima	m	360,00
Altitude média	m	550,00
Altitude máxima	m	740,00
Amplitude altimétrica	m	380,00
Declividade mínima	%	0,00
Declividade média	%	20,87
Declividade máxima	%	181,35
Coefficiente de rugosidade (CR)		0,54
Comprimento do rio principal	km	21,79
Comprimento total dos cursos d'água	km	271,35
Ordem da bacia	----	5
Densidade de drenagem (Dd)	km.km ⁻²	2,60
Densidade hidrográfica (Dh)	canais.km ⁻²	5,55
Índice de Rugosidade (Ir)	----	988,00

A Sub-bacia apresenta área total de 104,15 km², perímetro de 63,41 km e comprimento do curso principal de 21,79 km (Tabela 3). Esse padrão difere do verificado por RODRIGUES et al. (2016), que analisando a bacia hidrográfica do Igarapé da Prata-Pará verificaram os valores de 115,283 km² e 70,151 km, para a área e perímetro, respectivamente. As dimensões de uma bacia hidrográfica, juntamente com os atributos morfométricos são responsáveis pela dinâmica em seu interior. Os autores CECÍLIO et al. (2013) afirmam que quanto maior for a área, maior será a demanda de tempo para que os canais hidrográficos contribuam conjuntamente para a drenagem da área, diminuindo assim o potencial de susceptibilidade a enchentes.

Os valores encontrados para o Kf, Kc e IC, foram respectivamente: 0,34, 1,74 e 0,33. Tais valores classificam o formato da sub-bacia em alongado. O presente formato facilita o escoamento da água (TORRES et al., 2011), e conseqüentemente diminui a susceptibilidade a inundações em condições normais de precipitação (CARDOSO et al., 2006).

Estudando a morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas em Guanhães/MG, TONELLO et al. (2006) verificaram também o formato alongado. O mesmo padrão foi observado por ROCHA et al. (2014) analisando a bacia hidrográfica sub-bacia do ribeirão Santana – Rio Pardo de Minas/MG. A existência de uma forma mais alongada e irregular contribuiu para que não haja a ocorrência de enchentes.

Em contrapartida, TEODORO et al. (2007), analisando uma microbacia inserida no Estado de São Paulo, observaram que os valores encontrados para os parâmetros Kf,

Kc e IC, caracterizavam a área estudada com aspecto circular, formato esse que eleva o potencial a susceptibilidade de enchentes.

Os resultados encontrados para a altimetria e declividade não serão discutidos nesse subtópico, visto que já foram abordados anteriormente nos subtópicos 4.1.1 e 4.1.2.

O CR para a sub-bacia foi de 0,54. De acordo com o método utilizado o valor encontrado classifica a área da sub-bacia com aptidão agrícola para a agricultura. O mesmo padrão foi observado por BARACUHY et al. (2003), que subdividiram a microbacia hidrográfica do riacho Pau Brancos em Campina Grande (PB) em onze minibacias, e verificaram que em sua maioria as minibacias possuíam aptidão para agricultura. Em critérios de recomendação para aptidão agrícola, deve-se realizar visitas a campo a fim de adquirir maior conhecimento da área, pois segundo o método utilizada a classificação abrange a área total. Isso não é o adequado, já que se trata de uma área heterogênea, necessitando de maiores detalhes da paisagem para se realizar uma recomendação.

O Ir encontrado foi de 988,00, o que indica que a sub-bacia possui vertentes íngremes, com extensão e declividade elevadas, valores próximos ao observado por POLIZEL & ROSSETTI(2013). O padrão verificado quando associado à precipitação pluvial e as características dos solos predominantes na sub-bacia (Argissolos e Cambissolos localizados no terço superior e médio, e Planossolos e Gleissolos ocorrendo no terço inferior e sopé da paisagem (COSTA, 2015), os processos erosivos ocorrem de forma lenta e gradual, visto que quanto mais rugosa a superfície, menor é a susceptibilidade erosiva, pois devido a rugosidade presente na superfície o escoamento acaba perdendo energia, comportamento diferente quando se trata de uma superfície lisa, onde o potencial erosivo é muito maior.

Apesar do CR indicar aptidão agrícola para agricultura, o Ir verificado, apresenta a necessidade da adoção de um conjunto de práticas agrícolas mais adequadas, levando em consideração as particularidades da área.

A ordem dos cursos d'água representa o grau de ramificação de uma bacia hidrográfica. Diante disso a sub-bacia estudada foi classificada como de 5^a ordem (Figura 10), o que aponta um sistema de drenagem bem ramificado, mantendo padrão similar ao constatado por ABDALA et al. (2005). TORRES et al. (2011) afirmam que o grau de ramificação é diretamente proporcional ao tamanho dos cursos de água. Para SAITO (2011) e SOARES et al. (2014), quanto maior o número de ramificações da rede hidrográfica, mais eficiente será o seu sistema de drenagem.

A Dd encontrada foi de 2,60 km km⁻², indicando que a área estudada possui drenagem muito boa. Os autores KRAVCHENKO (1998), TONELLO et al. (2006), CARVALHO et al. (2009) consideram que valores baixos para a Dd estão relacionados a regiões com baixa intensidade e concentração da precipitação pluviométrica e que possuam como material de origem rochas permeáveis, que pode estar ligado ao seu grau de faturamento e consolidação. A Dd influencia na dinâmica do solo e consequentemente na susceptibilidade à erosão (MILANI & CANALI, 2000).

Estudando a morfometria e qualidade da água da microbacia do córrego do Sapecado, afluente do rio Uberaba-MG, VIEIRA et al. (2012) verificaram o valor de 1,49 km.km⁻² para a Dd, classificando a drenagem como regular. Classificação essa que corrobora com a realizada por STIPP et al. (2010), com valor de Dd de 1,33 km.km⁻². Padrão diferente ao observado por SILVA et al. (2014), que ao realizar a caracterização física das Bacias Hidrográficas do Igarapé Canela Fina e Igarapé Preto, ambas localizadas no município de Cruzeiro do Sul, AC, encontraram os seguintes valores para a Dd: 0,83 e 0,86, respectivamente.

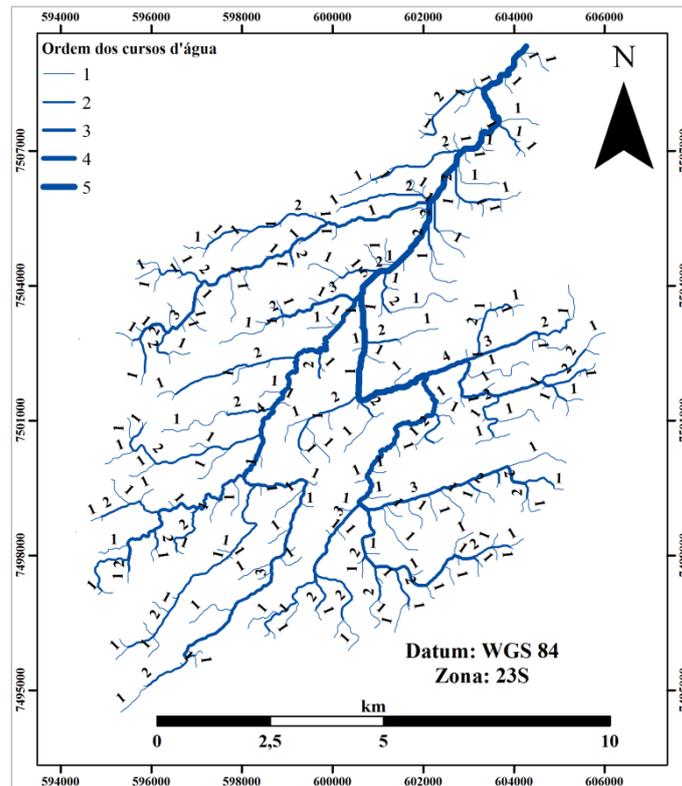


Figura 9. Mapa da ordem dos cursos d'água da sub-bacia de ribeirão Cachimbal, Pinheiral-RJ.

Segundo MACHADO et al. (2011), as áreas com alta Dd apresentam maior susceptibilidade a ocorrência de processos erosivos, necessitando de atenção no manejo do solo.

A D_h observada para a sub-bacia do ribeirão Cachimbal - Pinheiral-RJ foi de 5,55 canais/km², ou seja, existem aproximadamente cinco canais para cada km² área de estudo. LANA et al. (2001) e SANTOS et al. (2012) consideram a D_h como um indicador para que sub-bacias formem novos canais, e afirmam ainda que valores acima de 2,00 canais.km⁻², indicam potencial elevado para gerar novos canais. Dessa forma a presente sub-bacia é classificada como D_h média (Tabela 6) e possui grande potencial para gerar novos canais

Os autores OLIVEIRA & ANTÔNIO (2015) realizaram a caracterização da bacia do Maxixe com o auxílio do SIG, e observaram o D_h de 0,38 canais.km⁻², concluindo que a área estudada possui uma D_h baixa, o que vem a dificultar o surgimento de novos canais. A relação entre os parâmetros (D_h < D_d) indica a necessidade de controle estrutural na bacia (FRANCO & DAL SANTO, 2015).

5. CONCLUSÕES

Por estar localizada na região de Mar de Morros, a sub-bacia do ribeirão Cachimbal possui atributos morfométricos distribuídos de forma heterogênea e são considerados como condicionantes na formação de processos erosivos.

A área não apresenta susceptibilidade a enchentes, pois a sub-bacia possui formato alongado.

A sub-bacia possui padrão de drenagem dendrídico, grau dos cursos d'água de 5ª ordem, Dd muito boa e Dh média, o que indica elevado potencial para gerar novos canais.

Foi verificado que a área possui vertentes íngremes, com declividade e Ir elevados. Dessa forma o escoamento superficial na sub-bacia ocorre lentamente, e a formação de processos erosivos ocorre gradualmente.

Apesar do CR indicar aptidão agrícola para agricultura, o Ir verificado, demonstra a necessidade da adoção de um conjunto de práticas agrícolas mais adequadas, levando em consideração as particularidades da área, com destaque para as variações do relevo e características do solo associadas à paisagem.

O método utilizado mostra-se adequado e de alta praticidade, podendo ser empregado em estudos em outras localidades.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. **Domínios morfoclimáticos e solos do Brasil**. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F. & FONTES, M. P. F. *Ossolos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e UFV, p.1-18, 1996.
- AB'SABER, A. N.; TUNDISI, G. T.; FORNERIS, L.; MARINO, M. C.; ROCHA, O.; TUNDISI, T.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y; VUONO, Y. S.; WATANABE, S. **Glossário de ecologia**. Academia de Ciência do Estado de São Paulo (ACIESP). São Paulo, n.103, 352p., 1997.
- ABDALA, V.L. **Zoneamento Ambiental da Bacia do Alto Curso do Rio Uberaba-MG como Subsídio para a Gestão do Recurso Hídrico Superficial**. 2005, 73 p. (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Uberlândia – UFU, 2005.
- ABDALA, V. L. **Diagnóstico hídrico do Rio Uberaba - MG como subsídio para a gestão das áreas de conflito ambiental**, 2005. 64p. Tese (Doutorado em Agronomia-Ciência do Solo). Universidade Estadual de São Paulo, 2012.
- ALVES, J. M. P. & CASTRO, P. T. A. **Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque – MG baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos**. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, vol.33, n.2, p.117-127, 2003.
- ALVES, L. N.; GALO, M.; GALO, M. DE L. B. T. **Fundamentos do processamento interferométrico de dados de radar de abertura sintética**. **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, 2009.
- AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D. DA, PRUSKI, F. F. & MATOS, A. T. DE. **Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos simuladas no processo de erosão entre sulcos**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.5, n.1, p.124-130, 2001.
- ARAÚJO, E. P. **Aplicação de dados SRTM à modelagem da erosão em microbacias por geoprocessamento**. 2006. 88f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE: São José dos Campos, 2006.
- ASSAD. E. D. **Sistema de informações geográficas**. Aplicações na agricultura. Brasília: Embrapa – SPI / Embrapa – CPAC, Xxviii, 434p., 1998.
- ATTANASIO, C.M. **Planos de manejo integrado de microbacias hidrográficas com uso agrícola: uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade**. 2004. 193f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- BARACUHY, J.G. de V; KURTZ, S. M. de J. M.; KURTZ, F. C.; DUARTE, S. M. A.; LIMA, V. L. A. de; ROCHA, J. S. M. da; DANATAS NETO, J. **Deterioração físico-conservacionista da microbacia hidrográfica do riacho Paus Brancos, Campina Grande, PB**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.7, n.1, p.159-164, 2003.
- BARRELLA, W. **As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes**. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) *Matas ciliares: conservação e recuperação*. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.
- BARROSO, L. C.; ABREU, J. F. **Geografia, modelos de análise espacial e GIS**. Belo Horizonte: PUC Minas, 232p, 2003.
- BARUQUI, A. M.; FERNANDES, M. R. **Práticas de conservação do solo**. Belo Horizonte. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte. v. 11, n. 128. p. 55-69, 1985.
- BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação**. Florianópolis: UFSC, 112 p, 1994.

BEZERRA, M. V. C.; SILVA, B. B.; BEZERRA, B. G. Avaliação dos efeitos atmosféricos no albedo e NDVI obtidos com imagens de satélite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, p.709-717, 2011.

CALDAS, A. J. F. S. **Geoprocessamento e análise ambiental para determinação de corredores de hábitat na Serra da Concórdia, Vale do Paraíba – RJ**. 2006. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ambientais e Florestais), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

CALIL, P. M.; OLIVEIRA, L. F.C. de; KLIEMANN, H. J.; OLIVEIRA, V. A. de. Caracterização geomorfométrica e do uso do solo da Bacia Hidrográfica do Alto Meia Ponte, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.4, p.433-442, 2012.

CALLEGARO, R. M.; LONGHI, S. J.; BIALI, L. J.; EBLING, A. A.; ANDRZEJEWSKI, C.; BRANDÃO, C. F. L. E S. Regeneração natural avançada de um fragmento de mata ciliar em Jaguari, RS, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v.7, n.2, p.315-321, 2012.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.2, p.241-248, 2006.

CARVALHO, W. M. DE C.; VIEIRA, E. DE O.; ROCHA, J. M. J.; PEREIRA, A. K. DOS S.; CARMO, T. V. B. Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do Córrego do Malheiro, no município de Sabará -MG. **Irriga**, Piracicaba, v.14, n.3, p. 398-412, 2009.

CARVALHO JÚNIOR, W. de. Classificação supervisionada de pedopaisagens no domínio dos mares de morros utilizando redes neurais artificiais. Tese de doutorado. UFV, MG. 160p. 2005.

CECÍLIO, R.A. Delimitação de bacia hidrográfica em região montanhosa a partir de diferentes modelos digitais de elevação. **Revista Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.5, p.2007-2024, 2013.

CEIVAP- Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos**. Agência Nacional das Águas . 2002, 1200p. Disponível em: <http://www.ceivap.org.br/planobacia.htm>. Acesso em: 25 junho, 2016.

CONAMA. **Resolução 006 de 4 de maio de 1994**, Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/conama/legiano1.cfm>. Acesso em: 05 de junho de 2015.

CHAMI, L. B.; ARAUJO, M. M.; LONGHI, S. J.; KIELSE, P.; LÚCIO, A. D. Mecanismos de regeneração natural em diferentes ambientes de remanescente de Floresta Ombrófila Mista, São Francisco de Paula, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.2, p.251-259, 2011.

CHEREM, L. F. S. **Análise morfométrica da Bacia do Alto do Rio das Velhas – MG**. 2008. 110f. Dissertação(Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais), Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, v.9, n.18, p.35-64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica de bacias hidrográficas no Planalto de Poços de Caldas**. Rio Claro: Instituto de Geociências, Universidade Estadual Paulista, 375p., 1970.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 150p.,1974.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Blucher, 256p., 1999.

- CORREA, I. M. C.; BERTOL, I.; RAMOS, J. C. & TAKIZAWA, M. M. Rugosidade da superfície de um Cambissolohúmico relacionada com o preparo e compactação do solo sob chuvar natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p.567-576, 2012.
- COSTA, L. M. da. Solos: Temos de evoluir para uma visão mais abrangente. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, vol.13, n.147, p.79-80, 1987.
- COSTA, E. M. **Mapeamento digital de solos por regressão logística múltipla em ambiente de Mar de Morros em Pinheiral, RJ**. 2015. 135f. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2015.
- COSTA, E. M.; ANTUNES, M. A. H.; DEBIASI, P.; ANJOS, L. H. C. dos. Processamento de imagens RapidEye no mapeamento de uso do solo em ambiente de Mar de Morros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.51, n.9, p.1417-1427, 2016.
- DOMINGUEZ, J. M. L. Costa das Baleias: Caracterização da Zona Costeira dos Municípios de Alcobaça, Caravelas, Nova Viçosa e Mucuri. CBPM / UFBA – CPGG / LEC, 92p., 2008.
- DUARTE, G. G. F.; ASSAD, M. L. L. Avaliação de MDE obtidos por meio de SRTM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007. Florianópolis. **Anais**, São José dos Campos: INPE, p.4849-4855, 2007.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1999, 412 p.
- ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ARC/INFO.Command references**. New York. 281p. 1994.
- FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 90p., 1996.
- FELGUEIRAS, C. A. **Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica: o paradigma geoestatístico por indicação**- São José dos Campos: INPE, 212p., 1999.
- FERRARI, J. L.; SILVA, S. F.; SANTOS, A. R.; GARCIA, R. F. Análise morfométrica da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte Alegre, ES. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v.8, n.2, p.181-188, 2013.
- FRANCO, A. C. V. & DAL SANTO, M. A. Contribuição da Morfometria para o Estudo das Inundações na Sub-bacia do Rio Luís Alves/SC. **Revista Mercator**, Ceará, v.14, n.3, p.151-167, 2015.
- FU, P.; RICH, P. M. **The solar analyst 1.0 manual**. Helios Environmental Modeling Institute (HEMI), Estados Unidos da América, 1999.
- FU, P. & P.M. RICH. **A geometric solar radiation model and its applications in agriculture and forestry**. Proceedings of the Second International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry. I- 357-364, 2000.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA & INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 1995-2000**. São Paulo, 2002.
- GALLANT, J. C.; WILSON, J. P. **Primary topographic attributes**. In: WILSON, J. P. & GALANT, J. C. (Eds.) *Terrain Analysis: Principles and applications*. New York: John Wiley & Sons. P.51-85. 2000.
- GOODCHILD, M. F. **The state of GIS for environmental problem solving**. In: GOODCHILD, M. F.; BRADLEY, O. P.; STEYAERT L. T. ed. *Environmental modeling with GIS*. New York: Oxford University Press, 8-15p., 1993.

- GOMES, N.M. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela na região Alto Rio Grande, MG.** 2005. 124f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D. DA. Comparison between hydrographically conditioned digital elevation models in the morphometric characterization of watersheds. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, vol.32, n.5, p.932–943, 2012.
- GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. Geomorfologia ambiental Geomorfologia ambiental. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.
- GREGORY, I. N.; ELL, P. S. **Historical GIS: technologies, methodologies, and scholarship.** P. cm. Cambridge studies in historicalgeography, 227 p, 2007.
- GUERRA, A. J.T.; CUNHA, S. B. Geomorfologia: uma atualização de base e conceitos. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, p. 149-209, 1995.
- HENDERSON, F. M.; LEWIS, J.; RYERSON, R. A. **Manual of Remote Sensing: Principles and Applications of imaging Radar**, v.2, ed. 3 New York: John Wiley & Sons, Inc, 1998.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manual técnico da vegetação brasileira. **IBGE**, Rio de Janeiro, 92 p, 1992.
- JARVIS, A.; RUBIANO, J.; NELSON, A.; FARROW, A.; MULLIGAN, M. **Practical use of SRTM data in the tropics: Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data.** Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 33p., 2004.
- KOPPEN, W. **Climatologia: conunestudio de los climas de latierra.** México: Fondo de Cultura Econômica, 488 p., 1948.
- KRAVCHENKO, A. **Aerofotointerpretação – Fotografia Aérea à Serviço da Agricultura.** Goiânia: Escola de Agronomia - UFG, 1998.
- JAIN, V.; SINHA, R. Evaluation of geomorphic control on flood hazard through geomorphic instantaneous unit hydrograph. **Current Science**, v. 85, n. 11, p. 26-32, 2003.
- LANA, C.L.; ALVES, J.M. de P.; CASTRO, P de T. A. Análise morfométrica da bacia do rio Tanque, MG-Brasil. **Revista Escola de Minas**,Ouro Preto, v.54, n.2, 2001.
- LANG, S. & BLASCHKE. Análise da paisagem com SIG. São Paulo: oficina de textos, 2009.
- LIMA, W. P. Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas. Piracicaba: ESALQ, 242p.,1986.
- LIMA, W. O. Função hidrológica da mata ciliar. **Simpósio sobre Mara Ciliar.** Fundação Cargil, p 25-42, 1989.
- LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas.** 1995. Tese (Doutorado em Geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.
- MACHADO, R.E. **Simulação de escoamento e produção de sedimento em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento.** 2002. 152f. Tese (Doutorado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- MACHADO, R. A. S.; LOBÃO, J. S. B.; VALE, R. M. C.; SOUZA, A. P. M. J. Análise de bacias hidrográficas como suporte à definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental a partir do uso de geotecnologias. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR**, 15p., 2011, Curitiba.São José dos Campos: INPE, 2011.

MAGESH, N. S.; CHANDRASEKAR, N.; SOUNDANAYAGAM, J. P. Morphometric evaluation of Papanasam and Manimuthar watersheds, parts of Western Ghats, Tirunelveli district, Tamil Nadu, India: a GIS approach. **Environmental Earth Sciences**, v.64, n.2, p.373–381, 2010.

MARENGO, J. A. **Água e mudanças climáticas**. Estudos avançados. Dossiê Água, v. 22, n.63, 2008.

MARKHAM, B. L.; BAKER, J. L. **Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamix Ranges, Exoatmospheric Reflectances and At-Satellite Temperatures**, Landsat Technical Notes, v.1, p.3-5, 1987.

MARQUES, O.; TIENNE, L.; CORTINES, E.; VALCARCEL, R. Atributos ambientais definidores de presença de fragmentos florestais de Mata Atlântica em microbacias instáveis. EDUR. **Revista Universidade Rural Série Ciências da Vida**. Rio de Janeiro, v.24, n.2, p.145-150, 2005.

MARTINS, F. B.; ROCHA, J. S.M. da; ROBAINA, A. D. KURTZ, S. M. de J. M.; KURTZ, F. C.; GARCIA, S. M. Zoneamento Ambiental da sub – bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS). Estudo de caso. **Cerne**, Lavras, v.11, n.3, p.315-322, 2005.

MENEZES, C. E. G. **Diagnóstico de degradação do solo em função da topografia e cobertura vegetal no município de Pinheiral-RJ**.1999. 186p. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1999.

MENEZES, P. M. L.; COELHO NETO, A. L. **Escala: estudo de conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: GEOCart-UFRJ, 6p., 2003. Disponível em: <[http://www.geocart.igeo.ufrj.br /pdf/trabalhos/Escala_Conceitos_Aplic.pdf](http://www.geocart.igeo.ufrj.br/pdf/trabalhos/Escala_Conceitos_Aplic.pdf)>. Acesso em: 07 de junho de 2016.

MENEZES, C. E. G. **Integridade de paisagem, manejo e atributos do solo no Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral-RJ**. 2008. 172 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008.

MONTANARI, R. et al. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.1, p.69- 77, 2005.

MORISAWA, M. E. Measurement of drainage basin outline form. **The Journal of Geology**, v. 66, n. 5, p. 587-591, 1958.

MOSCA, A.A.O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental de manejo de florestas plantadas**. 2003. 96f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MILANI, J. R.; CANALI, N. E. O sistema hidrográfico do rio Matinhos: uma análise morfométrica. **Revista RA’EGA**, Paraná, n.4, p.139-152, 2000.

NIKOLAKOPOULOS, K.G.; CHRYSOULAKIS, N. **Updating the 1:50.000 topographic maps using ASTER and SRTM DEM - The case of Athens, Greece**. In: Ehlers, M.; MICHEL, U. Remote sensing for environmental monitoring, GIS applications a and Geology IV, 11p., 2006.

OLIVEIRA, J. A. **Caracterização física da Bacia do Ribeirão Cachimbal-Pinheiral (RJ) e de suas principais paisagens degradadas**. 1998. 142 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-Graduação em Agronomia, Ciência do Solo, Seropédica, 1998.

OLIVEIRA, E. D.; CUNHA, M. C.; VESTENA, L. R. e THOMAZ, E. L. Aspectos Morfométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel, Guarapuava – PR. In: V

- SimpGeo (Simpósio Paranaense de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia, UFPR, **Anais**, 36-51 p. 2010.
- OLIVEIRA, B. E. N. de. **Mapeamento, identificação e análise dos fatores relacionados aos processos erosivos no Distrito Federal– ênfase nas voçorocas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, 2011.
- OLIVEIRA, B. R. & ANTÔNIO, G. B. Caracterização da bacia do Maxixe com auxílio de Sistemas de Informação Geográficas. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v.19, n.3, 2015.
- PINHEIRO, E. S. Comparação entre dados altimétricos SRTM, cartas topográficas e GPS: numa área com relevo escarpado. **Revista Brasileira de Cartografia**, São José dos Campos, n.58, v.1, 9p. 2006.
- PINHEIRO, H. S. K. Mapeamento digital de solos por redes neurais artificiais da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu, RJ. 2012. 138f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia. Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.
- POLIZEL, S. P & ROSSETTI, D. de F. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do córrego Tiradentes no município de Rio Bananal-ES. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, 2013.
- PINTO, A. O. T.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; ARAÚJO NETO, M. D. Tratamento dos dados da missão Shuttle Radar Topography Mission e comparação com modelo digital de terreno gerado por interpolação de cartas topográficas. **Revista Espaço e Geografia**, Brasília, v.7, n.1, p.77-97, 2004.
- PINTO, R. C. & PASSOS, E. Alterações geomorfológicas ocasionadas pela extração de calcário no município de rio branco do sul. **Revista Geoinfórmica**, Maringá, vol.3, n.2, p.3-20, 2011.
- PREZENTE, W. L. O uso das geotecnologias no ensino da geografia. **I Seminário Internacional dos Espaços de Fronteira**, 2011.
- PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: Editora UFV, ed. 2,279p, 2009.
- RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A.; BAMLER, R. The shuttle radar topography mission: a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v.57, n.4, p.241-262, 2003.
- RAMOS, J. C.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T., MARIOTI, J. & WERNER, R. DE S. Influência das condições de superfície e do cultivo do solo na erosão hídrica em um Cambissolohúmico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, p.1587-1600, 2014.
- REIS, D. R.; PLANGG, R.; TUNDISI, J. G.; QUEVEDO, D. M. Physical characterization of a watershed through GIS: a study in the Schmidt stream, Brazil. **Braz. J. Biol.**, vol. 75, n. 4, p. 16-29, 2015.
- RIBEIRO, H. J & FERREIRA, N. C. Análise comparativa de redes hidrológicas geradas a partir de superfícies hidrológicamente consistentes. **Boletim de Ciências Geodésicas**. v.20, n.4, 2014.
- ROCHA, J. S. M.; KURTS, S. M. J. M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, ed. 4, 120p., 2001.
- ROCHA, R. M.; LUCAS, A. A. T.; ALMEIDA, C. A. P de; NETO, E. L. M.; Netto, A. de O. A. Caracterização morfométrica da sub-bacia do rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.9, n.2, 2014.
- RODRIGUES, R. S. S.; FERNANDES, L. L.; CRISPIM, D. L.; VIEIRA, A. S. DE A.; PESSOA, F. C. L. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé da

Prata, Capitão Poço–Pará, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Paraíba, v.11, n.3, p.143-150, 2016.

SANTANA, D.P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 63p., 2003.

SAITO, N. S. **Modelos digitais de elevação na sub-bacia hidrográfica do Córrego Horizonte, Alegre – Espírito Santo**. 2011. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.

SANTOS, A. do C. **Pedogênese e alterações geoquímicas em topossequências na Bacia do Ribeirão do Cachimbal na Região do Médio Vale do Paraíba, RJ**. 2009. 241f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2009.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.7,n.3,p.195-211, 2012.

SANTOS, G. L. **Efeito da Pedofoma no Processo de Sucessão Secundária em Fragmentos Florestais na Região do Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral, RJ**. 2014. 130f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2014.

SILVA, A. C.; TORRADO, P. V.; PÉREZ, M. G., NETTO, L. M & VASQUEZ, F. M. Relações entre Matéria Orgânica do Solo e Declividade de Vertentes em Toposequência de Latossolos do Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.5, p.1059-1068 2007.

SILVA, E. R da; DELGADO, R. C.; SOUZA, L. P. de; SILVA, I. S. da. Caracterização física em duas bacias hidrográficas do Alto Juruá, Acre. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.7, p.714–719, 2014.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. São Paulo: EDUSP, p 35-51, 2001.

SIQUEIRA, H. E.; OLIVEIRA, L. T. de; SILVA, V. A. da; ESTEVAM, J. P. da S.; VALLE JUNIOR, R. F. do. Análise morfométrica de definição do potencial de uso do solo na microbacia do córrego do Neca, em Uberaba- MG. III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Goiânia 2012.

SIRTOLI, A. E.; SILVEIRA, C. T. da; MANTOVANI, L. E.; SIRTOLI, A. R. dos A.; OKA-FIORI, C. Atributos do relevo derivados de modelo digital de elevação e suas relações com solos. **Scientia Agrária**, Curitiba, v.9, n.3, p.317-329, 2008.

SOARES, D. DA S.; SILVA, E. P. DA; OLIVEIRA, A. S. DE; SILVA, A. C. S. DA; VEIGA, J. B. DA. Análise morfológica, hidrológica e ambiental dos cursos d'água de parte da comunidade central, na microbacia Mariana do Município de Alta Floresta – MT. **Revista Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.10, n.19; p.2685, 2014.

SOUZA, A. C. M.; SILVA, M. R. F.; DIAS, N. da F. Gestão de recursos hídricos: O caso da Bacia Hidrográfica Apodi/Mossoró (RN). **Irrigação**, Edição Especial, p.280 - 296, 2012.

SOUZA, S. O.; VALE, C. C. DO; NASCIMENTO, F. H. Bacia do rio peruípe (ba): ensaio de classificação morfométrica por meio de dados SRTM. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.14, n.47, 2013.

SOUZA, L. M. de; FERNANDES, F. H. S.; NERY, C. V. M.; RIBEIRO, O. A. Caracterização flúvio-morfológica e dinâmica da paisagem da Sub-Bacia do Rio Ribeirão Santana – Rio Pardo de Minas/MG. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v.14, n.3, p.3346-3356, 2014.

SCHIMIDT, J.; EVANS, I. S.; BRINKMANN, J. Comparison of polynomial models for land surface curvature calculation. **International Journal of Geographical Information Science**, Estados Unidos, v.17, n. 8, p. 797-814, 2003.

STIPP, N. A. F.; CAMPOS, R. A.; CAVIGLIONE, J.H. Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Taquara: uma Contribuição para o Estudo das Ciências Ambientais. **Portal da Cartografia**, Londrina v.3, n.1, 2010.

STRAHLER, A.N. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, v. 63, p.1117-1142, 1952.

TEODORO, V. L. I.; TEXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, Uniara, n.20, 2007.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da cachoeira das pombas, Guanhães - MG. **Revista Árvore**, v.30, n.5, p.859-857, 2006.

TONELLO, K.C. **Análise Hidroambiental da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. 2005. 69f. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2005.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; OLIVEIRA, F. A. de; PAIVA, J. de; CORNÉLIO, E. DE P.; FERNANDES, F. S. Análise das características quantitativas e qualitativas da microbacia do córrego barreiro, afluente do rio Uberaba. **Revista Árvore**, Viçosa, v.35, n.4, p.931- 939, 2011.

THORNTHWAITE, C. W. & MATHER, J. R. **The water balance**. New Jersey. Laboratory of Climatology, 104p., 1955.

VALERIANO, M. M. **Modelos digitais de elevação de microbacias elaborados com krigagem**. São José dos Campos:INPE, 56p, 2002.

VALLE JUNIOR, R. F. DO; GALBIATTI, J. A.; PISSARRA, T. C. T.; FILHO, M. V. M. Caracterização morfométrica da bacia do rio Uberaba e determinação do uso potencial do solo, Uberaba-MG. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.13, n.44, p.60–74, 2012.

VASCO, A. N.; BRITTO, F. B.; PEREIRA, A. P. S.; JÚNIOR, A. V. M.; GARCIA, C. A. B.; NOGUEIRA, L. C. Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 6, n. 1, p. 118-130, 2011.

VIANELLO, R. L.; ALVES A. R. **Metereologia básica e aplicações**. Viçosa: Editora UFV, ed. 2, 460 p., 2012.

VIEIRA, D. M. da S.; TORRES, J. L. R.; OLIVEIRA, L. M. de; GONÇALVES, O. R.; OLIVEIRA, M. A. de. Morfometria e Qualidade da Água da Microbacia do Córrego do Sapecado, Afluente do Rio Uberaba-MG. **Global Science and Technology**, v.05, n.03, p.11-22, 2012.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 245p., 1997.

**CAPÍTULO 2: ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM
DIFERENTES AMBIENTES E PEDOFORMAS DE VOÇOROCAS, SUB-BACIA
DO RIBEIRÃO CACHIMBAL, PINHEIRAL – RJ**

RESUMO

Na sub-bacia do ribeirão Cachimbal, Pinheiral-RJ são observados processos erosivos de diferentes magnitudes, sendo que nos estágios mais avançados estes apresentam-se na forma de voçorocas. A ocorrência de voçorocas é verificada em feições topográficas (pedoformas) distintas, a saber: côncava e convexa. Apesar de estudos terem sido conduzidos buscando a compreensão do processo erosivo no município, ainda são incipientes aqueles que avaliam se as voçorocas desenvolvem preferencialmente em uma dessas feições (côncava ou convexa) e se existem variações dos atributos físicos e químicos do solo quando comparado o material do ambiente interno ou externo da voçoroca. Desse modo, a avaliação do padrão de ocorrência das voçorocas, bem como a distribuição dos atributos físicos e químicos em suas faces interna e externa podem contribuir para a compreensão do desenvolvimento do processo erosivo e fornecer informações para programas de recuperação de áreas degradadas. A partir do exposto, esse capítulo teve como objetivo avaliar a variabilidade dos atributos físicos e químicos do solo em diferentes pedoformas (côncava e convexa) e nas faces interna e externa das voçorocas. O mapeamento das voçorocas foi realizado a partir da imagem do ano de 2015, obtida no Google Earth, com resolução espacial de 2,34 metros. Na imagem foram georreferenciadas todas as voçorocas ocorrentes na área de estudo. A classificação quantitativa foi realizada visualmente através da imagem da sub-bacia georreferenciada. A classificação qualitativa foi realizada através do MDE de Superfície de curvatura (MDESC) gerado no Capítulo 1, em que foram plotadas as coordenadas de cada voçoroca quantificada e validadas visualmente com a ida ao campo. Dessa forma, as voçorocas foram classificadas quanto à pedoforma de ocorrência, côncava ou convexa. Posteriormente, foi selecionada em cada pedoforma uma voçoroca que apresentasse similaridade quanto ao sua dimensão e face de exposição. Em cada voçoroca foram coletadas amostras no seu interior e na face externa. No ambiente externo de cada voçoroca, no terço superior da encosta, foram abertas trincheiras para a classificação de perfis de solo. Os perfis foram descritos e coletados segundo as normas no Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo, sendo coletadas amostras deformadas e indeformadas para a caracterização dos atributos físicos e químicos do solo. A classificação dos perfis foi realizada de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo. Para avaliação dos atributos químicos e físicos das voçorocas, em cada uma das faces (interna e externa) foram coletadas amostras na profundidade de 0-10 cm. Através dos resultados encontrados, verificou-se que as voçorocas ocorrem preferencialmente na pedoforma convexa. Em ambas as áreas estudadas os solos foram classificados no nível taxonômico de Ordem como Latossolos, sendo identificado um Latossolo Vermelho-Amarelo na pedoformacôncava e Amarelo na convexa. Os atributos químicos e físicos do solo apresentam-se de forma diferenciada quando comparados os ambientes interno e externo, não diferindo quanto à pedoforma. Os atributos químicos mais correlacionados com a face externa foram: Ca^{2+} , Valor S, H+Al, Mg, Valor T, C e K. Para a face interna: P, Al^{3+} , Saturação por Alumínio, V% e pH. Os atributos físicos mais correlacionados com a face externa foram: macroporosidade, microporosidade, argila natural, argila total, densidade do solo, densidade das partículas. Enquanto para a face interna foram: areia total, areia fina, porosidade, grau de flocculação e silte.

Palavras-chave: Atributos do solo, processo erosivo, variabilidade espacial.

ABSTRACT

In the Cachimbalriver sub-basin, Pinheiral-RJ, erosive processes are observed in different magnitudes, and the most advanced stages are presented in the form of gullies. The occurrence of gullies is verified in distinct topographical features (pedoforms) such as: concave and convex. Although some studies have been conducted to evaluate the process of erosion in the municipality, most of them have shown to be insipient, especially the ones which evaluated where the gullies were more likely to develop (in concave or convex areas) and if there are variations of the physical and chemical effects on the soil when comparing the internal or external material of the gully. Thus, an evaluation of the voicers' pattern of occurrence as well as a distribution of the physical and chemical factors on the inner and outer faces of the gully can contribute to understanding the development of the erosive process and to provide information that contributes to recovery programs of degraded lands. From the above analysis, this study aimed to evaluate the variability of physical and chemical attributes in different forms (concave and convex) and in not internal and non - external environments of the gullies. Voice mapping was based on an image that was taken in 2015, obtained in Google Earth, with spatial resolution of 2.34 meters. In the image all the gullies occurring in the study area were georeferenced. The quantitative classification was performed visually through the geo-referenced sub-basin image. The qualitative classification was performed through the curvature surface MDE (MDESC) generated in Chapter 1, in which the coordinates of each quantified gully were plotted and visually validated with a field trip. Thus, the gullies were classified as pedoform of occurrence, in concave or convex. Subsequently, one gully was selected in each pedoform that presented a similar size and face of exposure. Samples were collected at each gullet and inside of them. In the external environment of each gully, in the upper third of the slope, trenches were opened to classify soil profiles. The profiles were described and collected according to the norms in the Manual of Description and Collection of Soil in the Field, being collected deformed and undisturbed samples for the characterization of the physical and chemical attributes of the soil. The classification of the profiles was performed according to the Brazilian Soil Classification System. For the evaluation of the chemical and physical attributes of the gullies, on each side (internal and external) samples were collected at depth of 0-10 cm. From the results obtained, it was verified that the gullies occur preferentially in the convex pedoform. In both studied areas the soils were classified in the taxonomic level of order as Oxisols, being identified a Red-Yellow Latosol in the concave pedoform and Yellow in the convex one. The gullies occur preferentially in convex pedoform. The chemical and physical attributes of the soil present themselves differently when compared to the internal and external environments, not differing, though, concerning the pedoform. The chemical attributes most correlated with the external face were: Ca^{2+} , S-Value, H + Al, Mg, T-value, C and K. For the internal face: P, Al^{3+} , Aluminum Saturation, V% and pH. The physical attributes mostly correlated with the external face were: macroporosity, microporosity, natural clay, total clay, soil density, particle density. On the inner side they were: total sand, fine sand, porosity, flocculation degree and silt.

Keywords: Soil attributes, erosive process, spatial variability.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos os processos causadores da degradação do solo, com destaque para a erosão hídrica têm sido abordados constantemente nos eventos científicos. No ano de 2016 foi um dos temas mais discutidos na XX Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água.

A FAO (2016) estabeleceu 2016 como a década do solo, sendo no dia 5 de dezembro comemorado o dia mundial do solo. Este recurso natural não renovável sendo submetido à constante degradação, tendo como um dos principais fatores contribuintes para esse processo a erosão. Segundo informações da FAO, cerca de 30 bilhões de toneladas de solo são erodidos pela água, 5 bilhões pelo manejo inadequado, 2 bilhões pela erosão eólica, padrão que terá como consequência se contínuo, uma queda no potencial de produção agrícola em 10% até 2050.

Nesse contexto, o município de Pinheiral-RJ apresenta-se, com cerca de 88% de sua área classificada como alta ou muito alta vulnerabilidade a erosão (CEIVAP 2002; COUTINHO, 2017). O município tem grande parte de seu território compreendido pela sub-bacia do ribeirão Cachimbal-RJ e está inserido na região de “Mar de Morros”, que é caracterizada pelo relevo movimentado, predomínio de diferentes feições topográficas (côncava e convexa) e pelo histórico de uso e ocupação abrangendo de maneira geral a cafeicultura, que foi substituída pela criação de gado.

Ao longo da sub-bacia são encontradas diferentes formas de degradação do solo, porém o mais evidenciado é o processo erosivo. Esse processo, de remoção de solo, quando se encontra em estágios avançados recebe a denominação de voçoroca. Alguns fatores como, chuva, solo, topografia, cobertura vegetal e a ação antrópica são tomadas como principais causadores desse processo (DUMMER, 2014; LIMA et al 2014; MARQUES et. al., 2016).

As voçorocas possuem grande potencial erosivo, contribuindo para grandes perdas de solo, promovendo entre outras consequências o assoreamento dos rios. Apesar de vários trabalhos terem sido realizados caracterizando o processo erosivo, ainda são incipientes aqueles que avaliam os atributos físicos e químicos de voçorocas localizadas em diferentes feições topográficas, também denominadas de pedoformas, côncavas e convexas.

A partir do exposto, o presente capítulo teve como objetivo quantificar e qualificar as voçorocas presentes na sub-bacia do ribeirão Cachimbal, e avaliar os atributos físicos e químicos de diferentes ambientes e pedoformas de voçorocas, a fim de gerar e fornecer informações que possam vir a contribuir para programas de recuperação de áreas degradadas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Erosão do solo

A palavra erosão vem do latim (*erodere*) e significa “corroer”, e pode ser tomada como um dos principais fatores que contribuem para a degradação do solo. A erosão do solo define-se pelo arraste de partículas proveniente da ação do vento e da chuva, depositando esse solo em diferentes locais na paisagem (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2008; OLIVEIRA, 2011). De acordo com GALETI (1973) os processos erosivos se desenvolvem em três fases: desagregação, transporte e deposição.

Segundo LEPSCH (2011) o processo de erosão ocorre naturalmente, no qual fatores e eventos naturais transportam e depositam partículas do solo e os nutrientes. Para Mendonça (2013) esse padrão pode ser catalisado pela ação antrópica, promovendo alterações nos meios físico e químico.

A Food and Agriculture Organization-FAO (2016) afirma que dentre os principais agentes contribuintes para a erosão do solo tem-se: a água, o manejo inadequado e o vento, e que estes contribuem respectivamente, em: 20 a 30 bilhões, 5 bilhões e 2 bilhões de toneladas de solos perdidos. Nesse contexto PRUSKI (2009) classifica a erosão hídrica como principal fator contribuinte para a erosão de solo no Brasil.

2.1.1 Erosão hídrica do solo

A erosão hídrica se inicia por meio do impacto das gotas de chuva (‘efeito splash’) sobre o solo, processo conhecido como salpicamento. Esse fenômeno promove a destruição dos agregados e a individualização das partículas favorecendo dessa forma, o transporte destas de um local para o outro (ELLISON, 1947). Esse processo é conhecido como escoamento superficial, que segundo BERTONI & LOMBARDI NETO (2008) é o maior agente de transporte de partículas individualizadas. Longos períodos de precipitação pluvial aumentam o fluxo de sedimentos e dão origem a incisões na superfície do solo, que se manifestam inicialmente na forma laminar, posteriormente em sulcos, evoluindo para ravinas, e em estágio final o surgimento das voçorocas (OLIVEIRA, 1998; DUMMER, 2014).

A degradação das terras no Brasil pode ser identificada mediante a análise da perda da camada superficial do solo, que é causada em sua maioria pela erosão hídrica (HERNANDEZ et al., 2002). Diante desse processo de degradação, constantes são as alterações verificadas nas terras, no tocante a fertilidade e condições físicas do solo.

2.1.2 Fatores condicionantes da erosão hídrica do solo

A erosão hídrica do solo é condicionada pelos seguintes fatores: precipitação pluviométrica, tipo de solo, uso e ocupação do solo e topografia (COGO et al., 2003; SOUSA, 2010; FLAUZINO, 2012). A seguir serão apresentados os fatores condicionantes supracitados.

2.1.2.1 Chuva

A precipitação pluviométrica é um dos principais fatores climáticos contribuintes para o processo erosivo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2008). Os autores mencionados anteriormente e PRUSKI (2009) afirmam que quanto maior for a intensidade e a duração da precipitação pluviométrica, maior será seu volume e sua velocidade, culminando dessa maneira, em maior perda de solo. PRUSKI (2009) também afirma que as características mencionadas anteriormente, podem ser definidas como um conjunto chamado de erosividade da chuva. A erosividade é determinada pela energia cinética, que quanto maior, maior será a possibilidade de ocasionar a ruptura dos agregados (GUERRA, 2005). Conforme SILVA et al. (2009), ela pode ser utilizada para identificar os meses de maior risco para a ocorrência do processo erosivo.

A precipitação pluviométrica fornece a energia necessária para a ocorrência da erosão hídrica, de modo que a água atua no escoamento superficial, subsuperficial, transportando e depositando sedimentos, alterando morfologicamente a paisagem (SALOMÃO, 1999). Esse tipo de erosão abrange fatores erosivos sob a forma laminar, de sulcos, ravinas e voçorocas, causadas principalmente pelo salpico oriundo da ação das gotas de chuva e pelo escoamento superficial (BIGARELLA, 2003).

2.1.2.2 Solos

O uso inadequado desse recurso não renovável tende a influenciar negativamente nos processos erosivos. A degradação do solo em sua maioria

estádiretamente relacionada a cultivos conduzidos irregularmente, a adoção de práticas inapropriadas, de maneira geral proveniente de ações antrópicas.

CASTROetal. (2004) afirmam que os atributos biológicos, físicos e químicos do solo atuam na forma e intensidade que o processo erosivo vai ocorrer que as diferentes características físicas e químicas dos solos são fundamentais na definição da dinâmica da água, interferindo na dinâmica da água e influenciando no desprendimento e transporte de partículas.

A capacidade erosiva do solo édenominada deerodibilidade (PRUSKI, 2009). A erodibilidade do solo é proveniente da ação conjunta das características físicas de textura, estrutura, agregação e porosidade. Essas características, associadas aos atributos biológicos e químicos, caracterizam o padrão dos solos no tocante aos processos erosivos (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2008; FLAUZINO, 2012).

A estrutura, agregação e a porosidade dos solos influenciam na capacidade de infiltração da água e no arraste daspartículas de solo. A redução da estabilidade dos agregados favorecea individualização das partículas e aumenta o escoamento superficial, e conseqüentemente o risco de erosão (OLIVEIRA, 2011). Outro atributo físico a ser considerado é a espessura, onde solos menos espessos tendem a apresentar potencial erosivo mais elevado em comparação a solos mais profundos. Dessa forma a presença do contato lítico (SANTOSet al., 2015) próximo a superfície favorece esse processo.Esse processoocorre devido à saturação dos horizontes do perfil, que após essa etapa, iniciam o processo de escoamento superficial, aumentando a possibilidade de arraste e transporte de partículas (SALOMÃO, 1999).Ele também pode ser favorecido em solos que apresentam horizontes de acumulação de argila (Bt) (SANTOSet al., 2015). A presença desse horizonte diminui o fluxo interno de água acentuando o processo erosivo.

A umidade é um atributo que também pode ser considerado como indicador erosivo. As vertentes de exposição que possuem alta incidência solar apresentam menor umidade, solos mais claros, mais rasos, vegetação mais espaçada e maior incidência de movimentos de massa quando comparadas com vertentes com menos insolação (GUERRA, 2005).

Quanto aos atributos químicos, LEPSCH (2002) afirma que solos mais férteis, ou adubados, apresentam bom desenvolvimento das plantas, promovendo conseqüentemente maior cobertura do solo e menor susceptibilidade a erosão hídrica.

2.1.2.3 Uso, ocupação e manejo do solo

O uso, ocupação e o manejo inadequado do solo proporcionam inúmeros problemas relacionados à sua sustentabilidade, atingindo negativamente os seus atributos, de maneira geral provocando alterações ambientais. Segundo SANTOSet al. (2011) as alterações dos atributos físicos e químicos do solo são intensificadas pelo uso inapropriado e intenso deste.

Algumas formas de uso e ocupação do solo podem provocar o surgimento e evolução do processo erosivo (SOUSA, 2010). Destaca-se algumas atividades agrícolas, como a abertura de valas para a divisa de propriedades, plantio em áreas íngremes e a construção de imóveis em terrenos inclinados.

O manejo adequado do solo apresenta-se como uma prática muito importante no controle dos processos erosivos, principalmente na erosão hídrica. Através de práticas conservacionistas é possível verificarmelhorias nas condições de infiltração de água no solo e diminuição do escoamento superficial, favorecendo assim a menor perda de solo e maior conservação do solo (BORGESet al., 2014). Em sua maioria as práticas

conservacionistas têm por princípio o não revolvimento do solo e a manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo.

A permanência de resíduos vegetais no solo proporciona maior proteção do meio, agregação, aumento na capacidade de retenção de água e influencia na atividade dos microrganismos, além de funcionar como barreira física na ação das gotas da chuva, dissipando a energia cinética, minimizando a força do impacto e evitando a desagregação do solo e o selamento superficial (MARTINS FILHO et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2012).

AYER et al. (2015) afirmam que em áreas de culturas temporárias, a adoção de técnicas de cultivo em nível e plantio direto, pode ajudar na prevenção à erosão, e que elevadas perdas de solo podem ser minimizadas com pastejo rotacionado, diminuição do número de cabeças de gado por hectare e adubação dos solos. A presença de resíduos vegetais no solo aumenta os teores de pH, Ca, Mg trocáveis, Carbono orgânico e P (COSTA et al., 2015).

PRUSKI (2009) ressalta a importância da cobertura vegetal na superfície, sendo ela considerada como o principal fator na redução da velocidade do escoamento superficial, já que a supressão da vegetação pode provocar a saturação do solo no período de chuvas intensas. Desse modo, o uso e o manejo do solo devem ser realizados adequadamente visando à manutenção da qualidade do solo e o combate à erosão hídrica.

2.1.2.4 Topografia

As características topográficas representadas pelo comprimento da rampa, declividade e forma da encosta interferem no processo erosivo (DIAS & HERRMANN, 2002; CARVALHO et al., 2008; MIQUELONE et al., 2012). De acordo com GUERRA et al. (2007) essas características influenciam diretamente na velocidade de escoamento superficial.

Os autores DURÃES & MELLO (2016) estudando a bacia hidrográfica do rio Sapucaí (MG) verificaram que o potencial erosivo é maior em declividades mais elevadas e em relevos mais movimentados, padrão similar ao observado por NETTO & SOBREIRA, 2006; BERTONI & LOMBARDI NETO, 2008; SILVEIRA et al., 2013.

A ação conjunta da declividade e do comprimento de rampa interfere na dinâmica do escoamento superficial no tocante a velocidade e volume, influenciando no tamanho e na quantidade de material suspenso que é arrastado pela água. Em relevos mais planos a água tende a escoar lentamente e a infiltrar, já em relevos mais movimentados o escoamento superficial possui maiores velocidades, propiciando maior susceptibilidade à perda de solo.

A direção do escoamento superficial é condicionada pelas formas da encosta, podendo ser concentrado ou difuso (CUNHA & GUERRA, 1996). Essas feições topográficas podem ser denominadas pedoformas, que são classificadas como linear, côncava ou convexa e as diferentes combinações dessas formas. Na pedoforma côncava, ocorre a convergência dos fluxos d'água, propiciando uma erosão localizada, já na pedoforma convexa, ocorre a divergência dos fluxos d'água, provocando uma erosão uniforme (LEPSCH, 2002; CASTRO, 2005; RESENDE et al., 2007).

EPÓSITO et al. (2010) e BACELLAR (2000) afirmam que as pedoformas côncavas são preferenciais para a ocorrência de deslizamentos, pois são zonas que possuem convergência d'água, desse modo mais sujeitas a saturação. Para SANCHEZ et al. (2009) as maiores perdas de solo e o maior potencial erosivo são observados nas pedoformas convexas, afirmativa que corrobora com o verificado por BARROS et al. (2016) e SANCHEZ et al. (2009).

Em regiões onde o solo e as práticas de manejo são as mesmas, as características topográficas se mostraram responsáveis pela perda de solo e aumento da susceptibilidade a erosão (SANCHEZ et al., 2009). Esse padrão indica grande dependência dos processos erosivos com a topografia.

2.1.3 Formas ocorrentes de erosão hídrica do solo

Inúmeras são as nomenclaturas encontradas na literatura para as formas ocorrentes de erosão hídrica (RODRIGUES, 1982; HASUI et al. 1995; BACELLAR et al. 2001; AUGUSTIN & ARANHA 2006; CONCIANI, 2008; RUBIRA et al. 2016). No entanto para esse estudo, a erosão hídrica será apresentada de duas maneiras distintas, nas quais o escoamento se dá de forma difusa (erosão laminar) e concentrada (erosão linear), este último englobando os sulcos, ravinas e voçorocas (RUBIRA et al., 2016). As diferentes formas de ocorrência serão apresentadas a seguir.

2.1.3.1 Erosão laminar

É o processo erosivo, no qual ocorre a remoção de uma camada fina do solo, através de lâminas d'água difusas que escoam sobre a superfície (GALETI, 1973). Não há formação de canais (Figura 11), porém provoca o empobrecimento do solo, assoreamento de rios e removem grandes quantidades de solo (CARVALHO, 2008). Para os autores CARVALHO et al. (2001) as consequências da erosão laminar são mais observadas facilmente em áreas rurais, pois ela causa danos às plantações, atingindo a cobertura das raízes e lixiviando alguns nutrientes do solo.



Figura 10. Erosão laminar. Fonte: jornalagricola.wordpress.com. Acesso em 15/01/2017.

Segundo CONCIANI (2008) e FLAUZINO (2012) essa erosão é a menos constatada, no entanto a mais prejudicial, já que ela atua diretamente sobre a fertilidade do solo.

2.1.3.2 Erosão linear

Possui como causa o escoamento superficial concentrado, que danifica o solo, promovendo cortes em formas de sulcos, evoluindo a ravinas após aprofundamento e se estabelecendo em nível máximo de evolução em voçorocas (INFANTI JUNIOR & FORNASARI FILHO, 1998).

2.1.3.2.1 Sulcos

Esse tipo de erosão para FLAUZINO (2012) trata-se da evolução da erosão laminar (Figura 12). No qual as linhas de fluxo d'água de escoamento superficial difuso

se concentram em pequenas depressões da superfície do solo, denominados de sulcos de erosão. Em tal processo de transição do escoamento a lâmina d'água apresenta-se com maior tensão de cisalhamento, aumentando então a capacidade de escoamento e o potencial de desagregação do solo. CARVALHO et al. (2001) afirma que esse tipo de erosão ocorre preferencialmente em solos recentemente cultivados. Segundo SALOMÃO & ANTUNES (1998) a erosão em sulcos pode evoluir formando uma ravina.

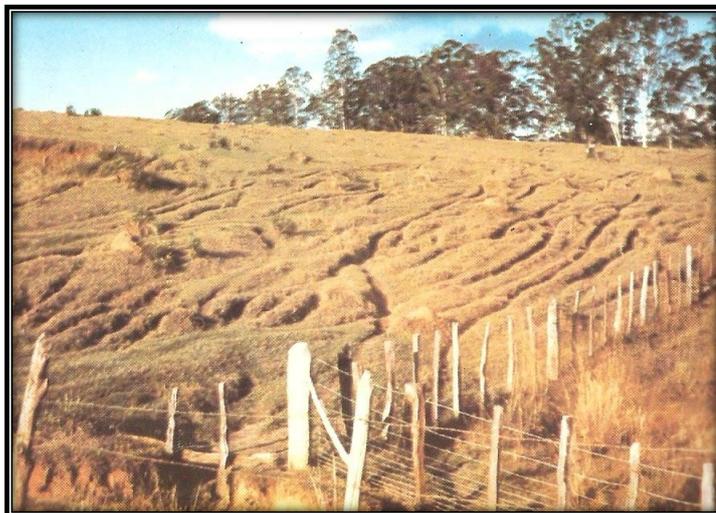


Figura 11. Erosão na forma de sulcos. Fonte: <http://conservandoosolo.blogspot.com.br>. Acesso em 15/01/2017.

2.1.3.2.2 Ravinas

As ravinas (Figura 13) se formam através da evolução dos sulcos, apresentando incisões de até 50 centímetros de largura e profundidade (GUERRA, 2005). ELLISON (1947) e CONCIANI (2008) afirmam que a formação de ravinas se dá a partir do momento em que a velocidade do fluxo concentrado excede os 30 ms^{-1} , favorecendo a formação de um regime turbulento, e como consequência deste, o surgimento de incisões e canais.

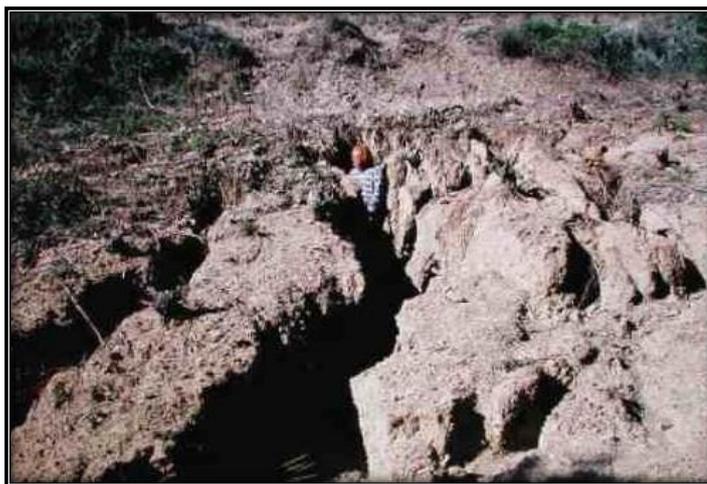


Figura 12. Erosão na forma de ravina. Fonte: <http://http://meioambiente.culturamix.com/natureza/vocoroca-e-ravinas-caracteristicas-gerais> Acesso em 15/01/2017.

De acordo com GUERRA (1999) as ravinas localizadas próximas a base das encostas, as incisões presentes tendem a aumentar em direção ao topo da encosta. O

autorainda afirma que em sua maioria as ravinas têm preferência de ocorrência a certa distância do topo, devido ao fato do escoamento das águas não ser canalizado. Adicionalmente, informa ainda que as ravinas em fase transicional para voçoroca podem atingir o lençol freático.

2.1.3.2.3 Voçorocas

A voçoroca ou boçoroca (Figura 14) como também é conhecida, consiste no estágio mais avançado da erosão hídrica linear do solo, e são típicas de regiões de clima tropical e subtropical, como o Brasil (ZUQUETTE et al., 2007). VIEIRA & VERDUM (2015) a definem como erosão linear em fase avançada, complexa e destrutiva, proveniente da ação conjunta da dinâmica da água, do escoamento de sedimentos sobre a superfície do solo, escoamento superficial, subsuperficial, subterrâneo e da ação antrópica.



Figura 13. Erosão na forma de voçoroca. Fonte: João Henrique Gaia Gomes (2015).

Para MAGALHÃES (2001) esse tipo de erosão se manifesta em canais nos quais o fluxo de escoamento superficial se concentra, sendo na maioria das vezes uma evolução das ravinas. Nesse processo o alargamento e evolução ocorrem de forma rápida e intensa, proporcionando um poder destrutivo superior ao das outras formas erosivas, e é a principal forma de erosão em bacias hidrográficas (ZUQUETTE et al., 2007).

Conforme apresentado por GUERRA (2005), as voçorocas possuem paredes laterais íngremes, fundo chato e na maioria das vezes atinge o lençol freático. PRUSKI (2009) apresenta as voçorocas como sulcos com largura maior que 1 m e profundidade superior a 50 cm. O autor ainda afirma que esse processo é caracterizado pelo grande deslocamento de massa, de maneira a dar origem a canais que impossibilitam o tráfego de máquinas agrícolas.

Nesse estudo foi adotada a nomenclatura de voçoroca, visto que a maioria dos eventos e das produções científicas recentes como as de VIEIRA & VERDUM. (2015) e RUBIRA et al. (2016) abordaram o tema desse modo.

2.1.5 Ocorrência de voçorocas em diferentes solos

Muitos são os estudos envolvendo a ocorrência de voçorocas no Brasil. No entanto a sua ocorrência varia em função das características apresentadas anteriormente, conforme observado por SANTOS (1997) em seu estudo na cidade de Goiânia, no qual o autor verificou que a chuva, topografia, solo, uso, ocupação e manejo aliados ao escoamento superficial favorecem o surgimento de voçorocas.

SILVA (1990) observou que solos com material de origem oriundo de micaxistos e quartizitos possuem elevado potencial erosivo quando comparados com solos provenientes de gnaisse granítico. FERREIRA (2005) analisando solo no município de Nazareno-MG, verificaram que a frequência do surgimento de voçorocas em Cambissolos é maior, quando comparado aos Latossolos Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo. O mesmo foi constatado por GOMIDE et al. (2011) em Lavras-MG, e OLIVEIRA (2011) que justificam esse padrão como consequência do uso e manejo inadequado, e por esses solos possuírem horizonte A e B rasos, horizonte C espesso e baixa permeabilidade.

3.MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área de estudo e caracterização do meio físico

Apresentado no Capítulo 1.

3.2 Mapeamento das voçorocas

O mapeamento das voçorocas foi realizado a partir da imagem do ano de 2015, disponível no Google Earth, com resolução espacial de 2,34 metros. Na imagem foram georreferenciadas todas as voçorocas presentes na área de estudo.

3.3 Classificação quantitativa e qualitativa das voçorocas

A classificação quantitativa foi realizada visualmente através da imagem da sub-bacia georreferenciada, conforme citado anteriormente.

A classificação qualitativa foi realizada através do MDE de superfície de curvatura (MDESC) gerado no Capítulo 1, onde foram plotadas as coordenadas de cada voçoroca quantificada, e validada visualmente com a ida ao campo. Dessa forma as voçorocas foram classificadas quanto à pedofórmula de ocorrência, em côncava e convexa. Posteriormente foi selecionada uma em cada pedofórmula, essa seleção teve como padrão o tamanho da voçoroca, cobertura vegetal e face de exposição.

3.4 Coleta das amostras de terra

Após a seleção das áreas de estudo foram abertas duas trincheiras, uma para cada voçoroca, na posição de terço superior da encosta para caracterização e classificação dos solos ocorrentes. Os perfis foram descritos e coletados segundo as normas no Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo (SANTOS et al., 2015), sendo coletadas amostras deformadas para a caracterização dos atributos físicos e químicos do solo (DONAGEMMA et al., 2011). A classificação dos perfis foi realizada de acordo com SANTOS et al. (2013).

Para avaliação dos atributos químicos e físicos das voçorocas, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas na profundidade de 0,0 – 0,10 cm no interior e no exterior de cada voçoroca. Na voçoroca côncava, as amostras deformadas foram coletadas em 76 pontos e para a voçoroca convexa em 59 pontos. Quanto as amostras indeformadas, foi utilizado o amostrador de Uhland, sendo coletados 20 pontos no interior e 20 pontos no exterior de cada voçoroca.

3.5 Análises de solo

Após a coleta, as amostras de terra deformadas foram secas, destorroadas e passadas por peneira de 2mm, obtendo-se então a terra fina seca ao ar (TFSA). A partir de então as amostras foram submetidas às análises químicas e físicas.

As amostras indeformadas foram utilizadas para a quantificação dos atributos físicos e físico-hídricos: densidade do solo (D_s), microporosidade, macroporosidade e porosidade.

3.5.1 Análises físicas

3.5.1.1 Análise granulométrica

Foi realizada a análise granulométrica (Figura 15), sendo quantificadas as seguintes frações do solo: areia total ($g\ kg^{-1}$), areia grossa ($g\ kg^{-1}$), areia fina ($g\ kg^{-1}$), argila total ($g\ kg^{-1}$), argila natural ($g\ kg^{-1}$) e silte ($g\ kg^{-1}$), de acordo com DONAGEMMA et al. (2011).



Figura 14. Análise granulométrica. Fonte: João Henrique Gaia Gomes (2015).

Através dos valores encontrados para argila total (g kg^{-1}) e argila natural (g kg^{-1}) foi calculado o grau de floculação (%), conforme a equação 8:

$$\%GF = \frac{\text{Argila total} - \text{Argila natural}}{\text{Argila total}} * 100(8)$$

3.5.1.2 Microporosidade e Macroporosidade

As amostras foram levadas para o laboratório e acondicionadas em uma bandeja, saturadas por 24 horas (Figura 16a). Em seguida foram pesadas e encaminhadas para a mesa de tensão (Figura 16b).



(a)



(b)

Figura 15. Amostras em período de saturação (a) e mesa de tensão utilizada (b). Fonte: João Henrique Gaia Gomes (2015).

Nela as amostras foram cobertas com plástico e o kitasato posicionado para promover uma tensão de 60 cm de coluna d'água. Após 24 horas na mesa de tensão, as amostras foram retiradas e pesadas. A diferença de peso da amostra saturada e da amostra pós-mesa representa a macroporosidade (Equação 9). Em seguida a amostra foi colocada em placa de petri, pesada e transferida para a estufa a 105°C , período de 24 horas. Decorrido esse tempo, as amostras foram pesadas (DONAGEMMA et al., 2011) e calculada a microporosidade, conforme apresentado na equação (10).

$$\% \text{Macroporosidade} = \frac{\text{massa da amostra saturada (g)} - \text{massa da amostra pos mesa de tensão(g)}}{\text{volume do cilindro (cm}^3\text{)}} \times 100 \quad (9)$$

$$\% \text{Microporosidade} = \frac{\text{massa da amostra após uma tensão de 60cmca} - \text{massada amostra seca a 105}^\circ \text{C (g)}}{\text{volume do cilindro (cm}^3\text{)}} \times 100 \quad (10)$$

3.5.1.3 Densidade do solo

Para a determinação da densidade do solo (D_s) foram obtidas amostras com o auxílio de um coletor de Uhland. Após a coleta a amostra foi pesada e colocada na estufa a 105°C , sendo retirada após 24 horas (DONAGEMMA et al., 2011). A D_s (Mg m^{-3}) foi calculada conforme a equação (11).

$$D_s = \frac{\text{massa da amostra seca a } 105^\circ\text{C (g)}}{\text{volume do cilindro (cm}^3\text{)}} \quad (11)$$

3.5.1.4 Densidade de partículas

Para a determinação da densidade de partículas (D_p) foram utilizadas amostras de (TFSA). Foram pesadas 20g de TFSA, colocadas em um recipiente metálico com massa conhecida e postas em seguida na estufa a 105°C por um período de 24 horas, obtendo-se assim a terra fina seca em estufa (TFSE). Posteriormente as amostras foram transferidas para um balão aferido de 50 ml (Figura 17), no qual foi adicionado álcool etílico, até o menisco. O conjunto foi previamente vedado, deixando-se em repouso por 24 horas.



Figura 16. Determinação da Densidade de Partículas (D_p). Fonte: João Henrique Gaia Gomes (2015).

Após esse período o balão foi completado com álcool etílico (DONAGEMMA et al., 2011). A quantificação é realizada mediante a anotação do volume gasto para completar o balão, e é obtida de acordo com a equação (12).

$$D_p = \frac{\text{massa da amostra seca a } 105^\circ\text{C (g)}}{50 - (\text{volume gasto de álcool}) (\text{cm}^3)} \quad (12)$$

3.5.1.5 Porosidade total

A porosidade total que quantifica o volume de poros totais do solo ocupado por água e/ou ar, foi determinada baseando-se na equação (13) (DONAGEMMA et al., 2011).

$$\text{Porosidade total (\%)} = \left(1 - \frac{D_s}{D_p}\right) \times 100 \quad (13)$$

3.5.2 Análises químicas

Foram realizadas as seguintes análises: a) pH em água na relação 1:2,5 (solo:água); b) Ca, Mg, Al ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$) trocáveis extraídos com KCl 1 mol L^{-1} , analisados por titulometria; c) P (mgkg^{-1}), K e Na ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) extraídos pelo método Mehlich-1 e analisados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente, d) H+Al ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$) avaliados a através de solução de acetato de cálcio $0,025 \text{ mol L}^{-1}$, e e) Carbono orgânico (gkg^{-1}) pela oxidação via úmida, com dicromato de potássio. O método utilizado para a determinação do carbono orgânico encontra-se descrito em YEOMANS & BREMNER (1988), e os demais em DONAGEMMA et al.(2011).

A partir dos dados obtidos foi calculado o Valor S, que compreende a soma dos teores de cálcio, magnésio, potássio e sódio. Os Valores T, V% e Saturação por alumínio pelas Equações 14,15 e 16 respectivamente:

$$T = \text{Valor S} + \text{H}^+ + \text{Al}^{+3} \quad (14)$$

$$V\% = 100 * \left(\frac{\text{Valor S}}{\text{Valor T}} \right) \quad (15)$$

$$\text{Al}^{+3} = \left(\frac{\text{Al}}{\text{Al} + \text{Valor S}} \right) * 100 \quad (16)$$

3.6. Análise estatística

Para avaliação do padrão das voçorocas (identificação da mais frequente, côncava ou convexa) presentes na área da sub-bacia do ribeirão Cachimbal, foi realizado o teste do qui-quadrado. Esse teste trata-se de uma análise não paramétrica, que se baseia em contagens e sinais de diferença. No teste realizado foi considerado como diferença estatisticamente significativa uma probabilidade menor que 5% ($p < 0,05$). Para a realização da análise foi utilizado o pacote MASS (VENABLES & RIPLEY, 2002), através da função *chisq.test*, ambos presentes no software R CORE TEAM (2015).

Quanto a avaliação dos atributos físicos e químicos nas voçorocas, foi realizada a análise dos componentes principais (ACP) através do programa Past.exe (HAMMER et al., 2004), com a finalidade de se verificar a similaridade ou dissimilaridade entre o local onde foram coletadas as amostras para as voçorocas côncava no interior (VCOi), côncava no exterior (VCOe), convexa no interior (VCXi), convexa no exterior (VCXe). Segundo HERLIHY & MCCARTHY (2006), EBERHARDT et al. (2008) e GUARESCHI et al.(2013) a ACP pode ser utilizada para reduzir as dimensões dos dados e, conseqüentemente, facilitar a análise por meio do gráfico de correlações.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Distribuição quantitativa e qualitativa das voçorocas

Foram quantificadas 30 voçorocas, com frequência de distribuição de 6 unidades na pedoforma côncava e 24 na pedoforma convexa, diferindo estatisticamente a 5% (Figura 17). Segundo MENEZES (2008), o plantio de café na área, durante o período colonial ocorreu preferencialmente nas topografias convexas em função das melhores condições de umidade e melhores condições microclimáticas para o desenvolvimento da cultura.

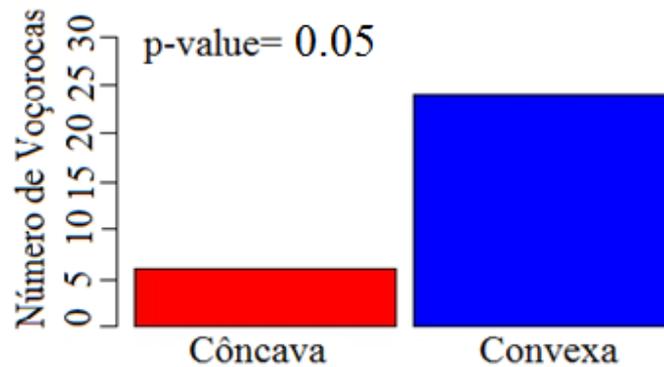


Figura 17. Distribuição de frequência das voçorocas ocorrentes na área de estudo.

O cultivo nestas feições contribuiu para uma maior degradação das mesmas. Padrão similar ao verificado por DUMMER (2014) que observou maior ocorrência de voçorocas em pedoforma convexa no município de Chувиска, RS. Avaliando a variabilidade espacial de atributos do solo em diferentes pedoformas no município de Catanduva (MG), SANCHEZ et al. (2009), verificaram maiores perdas de solo também na pedoforma convexa. SILVEIRA (2015) afirma que a pedoforma convexa possui maior susceptibilidade erosiva devido a apresentar fluxo concentrado da água de escoamento. Essa afirmativa também é feita por MIQUELONI et al. (2015) que verificaram que o processo erosivo tende a ser mais intenso nas pedoformas convexas.

4.2 Classificação e descrição morfológica dos perfis de solo

Segundo os critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2013) os solos foram classificados em Latossolo Vermelho-Amarelo na voçoroca da pedoforma côncava e Latossolo Amarelo na voçoroca da pedoforma convexa (Figura 19a e 19b), respectivamente.

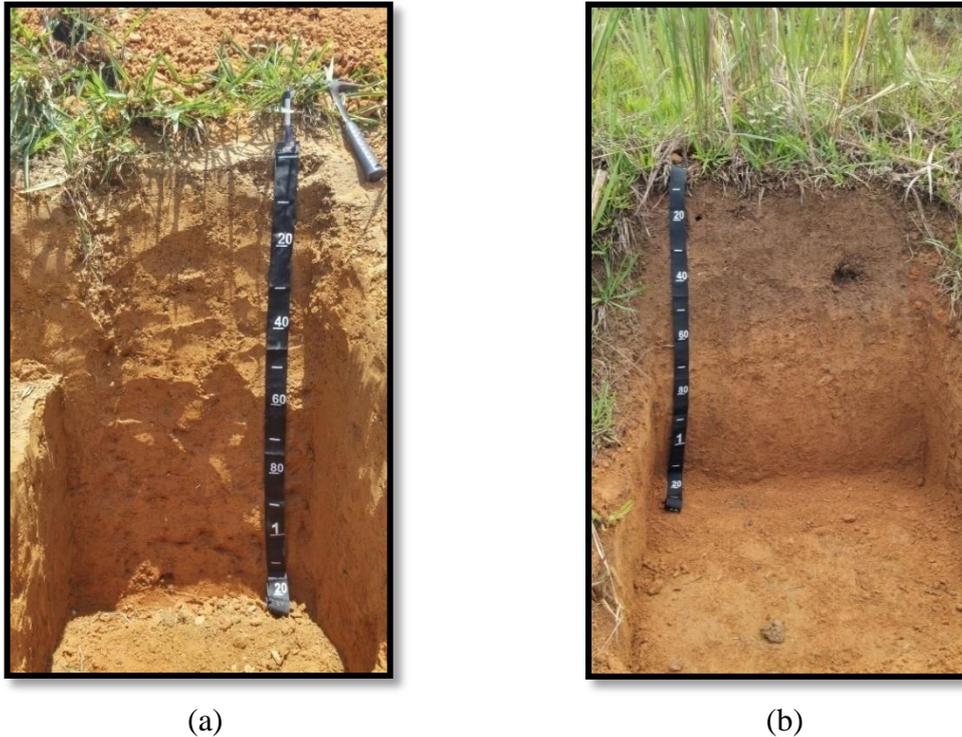


Figura 18. Latossolo Vermelho – Amarelo na pedoforma côncava (a) e Latossolo Amarelo (b) na pedoforma convexa. Fonte: João Henrique Gaia Gomes (2015).

A descrição morfológica e os resultados das análises físicas e químicas dos perfis encontram-se nos Anexos 1 (Voçoroca na pedoforma côncava-P1) e Anexo 2 (Voçoroca na pedoforma convexa-P2).

As duas voçorocas ocorrem em áreas onde o relevo local é forte ondulado, e o material de origem são rochas ácidas, tais como os sedimentos coluviais, produzidos a partir do intemperismo dessas rochas. A vegetação na área é a floresta subtropical subcaducifólia e o uso atual de ambas as áreas é pastagem (*Brachiaria*).

Para CARVALHO FILHO et al. (2010) o material de origem tem grande influência nas características dos solos. Segundo FENDRICH et al. (1988) solos arenosos, ácidos, pouco coesivos, com grande quantidade de areia fina e silte e baixos conteúdos de argila são mais susceptíveis à formação de voçorocas. CUNHA & GUERRA (1996) e MARINHESKI (2016) relacionam o relevo, as precipitações pluviométricas, a estrutura do solo, a cobertura vegetal e o uso e manejo como os agentes responsáveis pela origem e evolução de processos erosivos em estágio avançado.

Os perfis estudados apresentaram sequência de horizontes diferenciada, porém estes são bem definidos e têm estrutura bem desenvolvida, sendo possível observar maturidade pedológica, característica típica dos Latossolos (LEPSCH, 2002).

Quanto às cores, o P1 apresentou matiz 10 YR para o horizonte A e AB, para os horizontes BA e B1 7,5 YR, e para os horizontes B2 e B3 5YR. No P2 foi verificado predomínio dos matizes 10 YR para os horizontes A, B2, AB e 7,5YR para os horizontes BA, B1 e B2. Segundo LEPSCH (2002) e CHEROBIN (2012) solos que possuem uma maior participação da goethita ou baixos teores de óxidos de ferro tendem a apresentar coloração amarelada.

Ambos os perfis apresentaram estrutura granular nos horizontes superficiais, alterando para blocos angulares e subangulares nos horizontes subsuperficiais. A estrutura granular nos horizontes superficiais é decorrente dos maiores teores de

carbono orgânico, que decrescem em profundidade. A ação do sistema radicular das gramíneas também favorece a formação desse tipo de estrutura. Em subsuperfície predominam as estruturas no formato de blocos, estruturas típicas de horizontes que apresentam baixos conteúdos de óxidos de ferro. Quanto ao tamanho, foi verificada a variação de muito pequeno a pequeno, com grau de desenvolvimento variando de fraco a forte.

4.2.1 Atributos físicos

4.2.1.1 Análise granulométrica

Foi verificado para os dois perfis que os teores de areia, silte e argila variaram de 332 g kg⁻¹ a 570 g kg⁻¹, 98 g kg⁻¹ a 290 g kg⁻¹ e 302 g kg⁻¹ a 433, respectivamente.

Os solos analisados apresentaram valores de areia aumentando em profundidade, diferente do observado para a argila, que diminuiem profundidade, sendo os maiores valores encontrados nos horizontes BA e B1 para o P1 e AB e BA para o P2. A argila, por ser a fração de menor tamanho, pode ser removida com maior facilidade dos horizontes superficiais do solo em função do arraste provocado pela água das precipitações pluviométricas, sendo depositadas nos horizontes subsuperficiais ou nas partes mais baixas do relevo.

A composição textural dos horizontes variou em franco-argilo-arenosa, franco-argilosa, argilo-arenosa e argilosa (SANTOS et al., 2013). GOMIDE et al. (2011) constataram que a maioria dos ambientes onde ocorrem voçorocas sob Latossolo Vermelho-Amarelo, a classe textural predominante é a argilosa. Essa classificação é atribuída a valores de argila superiores a 350 g kg⁻¹ (SANTOS et al., 2013).

Os perfis apresentaram variação irregular para a relação silte/argila, sendo os menores valores observados nos horizontes BA/P1 e AB/P2, 0,43 e 0,34 respectivamente. Ambos os perfis apresentam valores inferiores a 0,6 indicando um elevado grau de intemperização (SANTOS et al., 2013).

Quanto à argila dispersa em água (ADA), os valores decrescem em profundidade. Esse padrão diferente observado para o grau de floculação (GF), que aumentou em profundidade. Padrão similar ao observado por LIMA et al. (2013), que afirmam a existência de relação inversa entre os teores de ADA e GF. Valores mais elevados para o GF indicam menor susceptibilidade a processos erosivos, característica essa típica dos Latossolos, que quando comparados com Argissolos, apresentam menor potencial erosivo. Visto que essa classe de solo possui um horizonte de acúmulo de argila, favorecendo ao escoamento superficial e baixa infiltração de água no solo, culminando no arraste de partículas e a possíveis deslizamentos de massa.

4.2.2 Atributos químicos

Os valores de pH variaram entre 4,22 a 4,66 no P1 e 4,23 e 4,55 no P2. Quanto à reação do solo, ambos os perfis foram classificados de reação forte a muito ácida (SANTOS et al., 2013). Foi verificado decréscimo em profundidade, padrão que pode estar relacionado com a mineralização da matéria orgânica, proporcionando liberação de cátions na camada superficial do solo (SILVA et al., 2006).

Os teores de Ca²⁺ e o Mg²⁺ variaram entre 0,15 cmol_c kg⁻¹ e 0,35 cmol_c kg⁻¹ e 0,51 cmol_c kg⁻¹ e 0,87 cmol_c kg⁻¹, respectivamente, com maiores valores de Ca²⁺ e menores valores de Mg²⁺ em destaque no P1. A partir dos valores encontrados os teores dos atributos analisados foram classificados como baixo (FREIRE et al., 2013). Os valores de Al³⁺ oscilaram entre 1,20 cmol_c kg⁻¹ a 2,25 cmol_c kg⁻¹ no P1 e 1,56 cmol_c kg⁻¹

¹a 2,15 cmol_c kg⁻¹ no P2, sendo esses teores classificados como alto (FREIRE et al., 2013).

Quanto ao K⁺ os teores variaram entre 0,03cmol_c kg⁻¹ (1,17 mgkg⁻¹) e 0,025 cmol_c kg⁻¹ (9,75 mg kg⁻¹), sendo os maiores valores verificados no P1 e classificados como baixo (FREIRE et al., 2013). O K⁺ é um elemento que possui elevada mobilidade e função estomática na planta, não estando ligado a nenhuma estrutura do vegetal, podendo ser facilmente lixiviado ou utilizado na ciclagem de nutrientes.

Para os valores de Na, foram verificados baixos teores variando entre 0,003 cmol_c kg⁻¹ e 0,004 cmol_c kg⁻¹ com distribuição irregular nos horizontes de ambos os perfis. Os valores baixos para Na estão diretamente relacionados ao material de origem que não possui quantidades elevadas de Na em sua composição. Outro fator a ser considerado para o padrão verificado, é a distância dos perfis do mar.

Os valores da soma de bases (Valor S) variaram entre 0,68 cmol_c kg⁻¹ e 1,12 cmol_c kg⁻¹, os de saturação por bases (V%) entre 23% e 26%, os de capacidade de troca catiônica (Valor T) entre 3,46 cmol_c kg⁻¹ e 5,21 cmol_c kg⁻¹ e saturação por alumínio entre 53% e 73%. Com exceção da saturação por alumínio, os valores são baixos quando comparado ao estudo da variabilidade espacial dos teores de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos desenvolvidos por CAVALCANTE et al. (2007). Os valores de pH encontram-se diretamente associados ao valor V. Baixos valores de bases no solo condicionam menores valores de pH. Essa condição normalmente está associada a maiores valores de acidez.

De acordo com SANTOS et al. (2013), o Valor S, V% e o Valor T são tomados com indicadores das condições gerais de fertilidade do solo, onde solos com V% ≥ 50% são classificados como solos eutróficos (férteis) e valores de V% < 50% como distróficos (baixa fertilidade natural). Solos distróficos podem apresentar teores de alumínio trocável muito alto, promovendo uma maior saturação por alumínio. Valores maiores que 50% classificam o solo como álicos

Os valores de carbono orgânico variaram de 2,72 g kg⁻¹ a 20,08 g kg⁻¹. Os valores mais elevados foram verificados em superfície, corroborando com SISTI et al. (2004), NETO et al. (2009), SANTOS (2009) e ROSSETI & CENTURION (2015). Uma possível explicação para o decréscimo em profundidade seria a maior deposição de resíduos vegetais na superfície.

Para a acidez potencial (H+Al) os maiores valores foram observados no P2 e variaram de 2,62 cmol_c kg⁻¹ e 4,01 cmol_c kg⁻¹. Foi verificado decréscimo dos valores em profundidade, estando esse decréscimo associado à diminuição dos teores de carbono orgânico do solo. A presença de material orgânico em superfície pode ter contribuído para o aumento dos valores de H⁺ e Al³⁺ (CAMPOS et al., 2011).

Com relação aos teores de P, foram quantificados baixos valores, variando de 5 mg kg⁻¹ a 8 mg kg⁻¹. Os maiores valores foram verificados no P2. Os baixos valores observados para esse elemento podem ser decorrentes da natureza do material de origem, rochas de caráter ácido e os sedimentos produzidos a partir do intemperismo destas, que não possuem minerais primários que apresentem P em sua constituição. Os valores de P foram classificados como baixos (FREIRE et al., 2013).

Com exceção do Al³⁺, saturação por Al e Na que apresentaram padrão de distribuição irregular nos horizontes, todos os atributos do complexo sortivo decrescem em profundidade. Esse padrão foi similar ao verificado por MACHADO (2007), MENEZES (2008), SANTOS (2009); COSTA et al., (2016).

De acordo com MENEZES (1999) os solos da região de “Mar de Morros” possuem baixa fertilidade, padrão esse relacionado ao material de origem, a pobreza em bases, o elevado grau de intemperismo, aos processos de degradação do solo, com

destaque para a erosão hídrica, que segundo o autor e MACHADO (2007) é de caráter expressivo na região mencionada.

4.2 Análise dos componentes principais (ACP)

Na ACP, as variáveis analisadas são representadas graficamente por setas, que indicam a direção do gradiente máximo destas. O seu comprimento é proporcional à correlação da variável com os eixos e à sua importância na explicação da variância projetada em cada eixo (THEODORO et al., 2003).

4.2.1 ACP para as variáveis químicas do solo

A ACP demonstrou, através da relação entre os eixos 1 e 2, que houve separação para os atributos químicos do solo entre as duas voçorocas analisadas (côncava – VC e convexa - VCX) e os ambientes das voçorocas (interno – i e externo – e), sendo identificadas como (VCOi, VCOe, VCXi e VCXe). Os resultados da ACP são apresentados na Figura 20 e a correlação das variáveis com os eixos 1 e 2 na Tabela 13. A soma dos dois eixos pode explicar 80,52%, sendo que o eixo 1 explicou 46,24% e o eixo 2 34,28%.

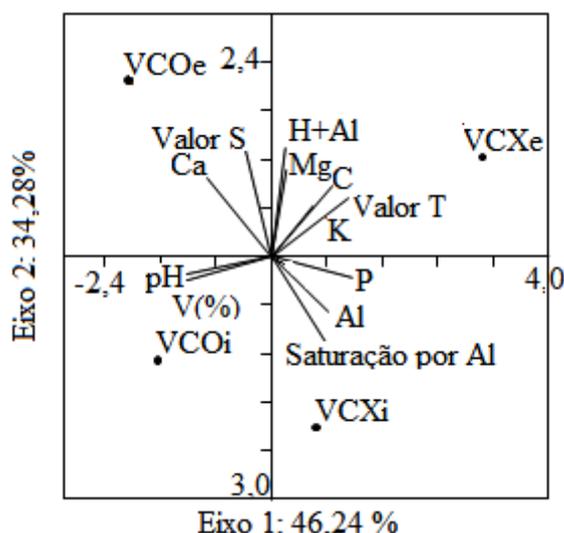


Figura 19. ACP para as variáveis químicas do solo. Fonte: Past.exe (HAMMER et al., 2004).

VCOe: Área externa da voçoroca côncava; VCOi: Área interna da voçoroca côncava; VCXe: Área externa da voçoroca convexa; VCXi: Área interna da voçoroca convexa; pH: pH em água; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Al: Alumínio; H+Al: Hidrogênio + Alumínio; P: Fósforo; Na: Sódio; K: Potássio; Valor S: Ca+Mg+Na+K; Valor T: Capacidade de troca catiônica; V(%): Saturação por bases.

Tabela 13. Valores das correlações entre os atributos químicos do solo e os eixos.

Eixo	Atributos Químicos						
	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	K	
1	-0,96	-0,72	0,16	0,64	0,15	0,41	
2	0,57	0,75	0,71	-0,46	0,90	0,27	
Eixo	P	Valor S	Valor T	V%	Saturação por Al	C	
1	0,91	-0,28	0,86	-0,91	0,60	0,68	
2	-0,17	0,88	0,49	-0,20	-0,70	0,58	

Através da análise da Figura 20, pode-se verificar que o eixo 1 separou os ambientes (interno e externo). Estando os atributos pH, V%, P, Na e Al associados ao ambiente interno e Ca⁺², Mg⁺², H+Al, K⁺, Valor S, Valor T e C para o ambiente

Eixo	Atributos físicos					
	AF	AG	ARET	AN	AT	Silte
1	-0,28	-0,74	-0,58	0,86	0,93	-0,23
2	0,40	0,57	0,81	0,49	0,05	-0,92
Eixo	GF	Macro	Micro	Ds	Dp	Porosidade
1	-0,77	0,06	0,91	0,94	0,93	-0,90
2	-0,62	0,96	0,33	0,13	-0,36	0,06

Através da análise da Figura 21, pode-se verificar que o eixo 2 separou o ambiente externo do interno. De maneira geral, os atributos ARET, AG, AF, Porosidade, GF e Silte, apresentaram maior associação com o ambiente interno. Já a Macroporosidade, Argila Natural, Microporosidade, AT, Ds e Dp com o ambiente externo.

O VCO esteve associado com as variáveis Macroporosidade ($r=0,96$), ARET ($r=0,81$), e o VCXe as variáveis AT ($r=0,93$), Microporosidade ($r=0,91$), Ds ($r=0,94$) e Dp ($r=0,93$). A Macroporosidade e ARET foram mais correlacionadas positivamente com o eixo 2. Já as variáveis associadas a VCXe, se correlacionaram positivamente com o eixo 1.

O interior das voçorocas por se tratar de um ambiente modificado, em que já houve o deslizamento de massa, tende a apresentar variáveis modificadas em comparação ao ambiente externo. Como observado na Figura 21, em que algumas variáveis explicam a separação entre a pedofoma e os ambientes.

Em áreas que tenham sido submetidas ao processo erosivo, as partículas individualizadas são removidas (argila naturalmente dispersa - AN), promovendo modificações no GF, sendo este maior na parte interna da voçoroca e menor na exterior. O GF é um indicador do processo erosivo, baixos valores de GF podem ser resultado do manejo inadequado, processos erosivos e da ausência de práticas de conservação, esses fatores podem favorecer a destruição da estrutura do solo reduzir a permeabilidade (AYER et al., 2015), contribuindo para a erosão hídrica. O GF é inversamente proporcional à argila natural, em que solos com menores valores indicam maior vulnerabilidade à erosão hídrica (SANTOS et al., 2010).

A relação entre o eixo 1 e o eixo 2 mostrou que os ambientes VCXe e VCO apresentam-se de maneira diferenciadamente dos ambientes VCXi e VCOi e que a maioria das variáveis estão contribuindo para explicar essa separação. Padrão similar ao verificado por GOMIDE et al (2011), que estudando voçorocas em Lavras (MG), observaram que a relação entre o eixo 1 e o eixo 2 também explica a separação entre os ambientes das voçorocas.

5. CONCLUSÕES

Na região de estudo as voçorocas ocorrem predominantemente na pedofoma convexa.

Os atributos químicos e físicos do solo ocorreram de forma diferenciada quando comparados os ambientes interno e externo, não diferindo quanto à pedoforma.

Os atributos químicos mais correlacionados com a face externa foram: Ca^{2+} , Valor S, H+Al, Mg, Valor T, C e K. Para o ambiente interno foram: P, Al^{3+} , Saturação por Alumínio, V% e pH.

Os atributos físicos mais correlacionados com o ambiente externo foram: macroporosidade, microporosidade, argila natural, argila total, densidade do solo, densidade das partículas. Já para o ambiente interno foram: areia total, areia fina, porosidade, grau de flocculação e silte.

A partir das análises dos resultados verifica-se que a feição topográfica (pedoforma) parece não influenciar no processo erosivo, no estágio de erosão estudado.

6. CONCLUSÕES GERAIS

Os atributos e parâmetros morfométricos da sub - bacia do ribeirão Cachimbal apresentaram – se como condicionantes na formação de processos erosivos.

As voçorocas ocorrem preferencialmente na pedoforma convexa. Padrão influenciado pelo plantio de café na região, que no período colonial era conduzido nas topografias convexas devido as melhores condições microclimáticas e de umidade.

O padrão de distribuição dos atributos físicos e químicos do solo das voçorocas é influenciado pelo ambiente (interno e externo).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como proposta avaliar o efeito dos atributos do solo e a morfologia da sub-bacia do ribeirão Cachimbal como condicionantes no processo erosivo em pedoformas côncava e convexa, na região do Médio Vale do Paraíba do Sul,

Pinheiral (RJ). Nesse contexto, a caracterização morfométrica realizada se apresentou como um bom indicador das condições físicas da sub - bacia, permitindo extrair informações fundamentais com potencial para serem utilizadas em programas de manejo.

Dentre as feições topográficas para a região abordada, a convexa apresentou maior ocorrência de voçorocas, em função do histórico de uso e ocupação e das características da região. Esse fato demonstra a necessidade de serem desenvolvidos mais estudos a fim de se formular práticas de recuperação mais eficientes, que levem em consideração a feição, os atributos edáficos e as características da área.

O desenvolvimento de estudos como esse é de suma importância para a determinação de práticas adequadas a serem adotadas em programas de recuperação de áreas degradadas. No entanto, é fundamental o envolvimento de universidades, empresas de fomento e órgãos de pesquisa, que promovam incentivos a recuperação e conservação do solo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA FILHO, G. S. Uso das terminologias de processos erosivos lineares dos tipos ravina e voçoroca. **Revista Geonorte**, Amazonas, v.10, n.1, p.693-699, 2014.

AUGUSTIN; C. H. R. R. & ARANHA, P. R. A. Piping em área de voçorocamento, noroeste de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. São Paulo, v.7, n.1, p.9-18, 2006.

ARTUR, A. G.; OLIVEIRA, D. P.; COSTA, M. C. G.; ROMERO, R. E.; SILVA, M. V. C.; FERREIRA, T. O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.2, p.141-149, 2014.

AYER, J. E. B.; OLIVETTI, D.; MINCATO, R. L.; SILVA, M. L. N. Erosão hídrica em Latossolos Vermelhos distróficos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiás, v. 45, n. 2, p. 180-191, 2015.

AZEVEDO, A.C. de; PEDRON, F. de A.; SARTOR, L. R.; CASARINI, P.G. Filossilicatos 2:1 com hidróxi entre camadas em solos: estado atual do conhecimento e das perspectivas de pesquisa. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v.55, p.236-243, 2012.

BACELLAR, L. de. A. P. **Condicionantes geológicos, geomorfológicos e geotécnicos dos mecanismos de voçorocamento na bacia do rio Maracujá**. 2000. 226 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.

BACELLAR, L. A. P.; COELHO NETTO, A. L.; ACERDA, W. Fatores condicionantes do voçorocamento na bacia hidrográfica do rio Maracujá, Ouro Preto – MG. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSAO, 7., 2001, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ABGE, p. 120-121.2001.

BARBIERI, D. M. **Formas do relevo e variabilidade espacial de atributos químicos e mineralógicos de um argissolo cultivado com cana-de-açúcar**.2007. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2007.

BARROS, F. da C.; GAIA-GOMES, J. H.; PEREIRA, M. G. Avaliação da Frequência de Distribuição de Voçorocas em Pedoformas Côncava e Convexa na Sub – Bacia do Ribeirão Cachimbal, Pinheiral (RJ). **I Simpósio Argentina-Brasil-Cuba**, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2016.

BENEDETTI, U.G.; VALER JÚNIOR, J. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MELO, V. F.; UCHÔA, S. C. P. Gênese, química e mineralogia de solos derivados de sedimentos pliopleistocênicos e de rochas vulcânicas básicas em Roraima, Norte Amazônico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 299-312. 2011.

BERTONI, J.& LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 355p., 2008.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Ed. Da UFSC, Florianópolis, v. 3, 2003.

BORGES, T. K de S.; MONTENEGRO, A. A de A.; SANTOS, T. E; M dos; SILVA, D. D da; JUNIOR, V. de P. e S. Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (*Zeamays*) em semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.6, p. 1862-1873, 2014.

BRANCO, S. B. C.; SALVIANO, A. A. C.; MATIAS, S. S. R.; JÚNIOR, J. M.; SANTOS, H. L. Influência do relevo e erodibilidade nos atributos químicos em área degradada de Gilbués, PI. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v.8, n.2, p.324-330, 2013.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; FREITAS, E. V. S. Dependência espacial de atributos químicos em área cultivada com cana-de-açúcar em

- Pereira Barreto, SP. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.38, n.4, p.350-359, 2007.
- CAMPOS, M. C. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; MONTANARI, R. Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, v.13, n.3, p.297-304, 2009.
- CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; IWATA, B. de F.; NÓBREGA, J. C. Atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.12, p.1681-1689, 2011.
- CARVALHO FILHO, A. de; CURI, N.; SHINZATO, E. Relações solo-paisagem no quadrilátero ferrífero em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.45, n.8, p.903-916, 2010.
- CARVALHO, J. C. de; LIMA, M. C.; MORTARI, D. **Considerações sobre prevenção e controle de voçorocas**. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Goiânia- GO, 2001.
- CARVALHO, R. B. **Conservação do solo agrícola: Levantamento de dados e caracterização**. 2008. 50f. Monografia. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.
- CASTRO, S. S. de.; XAVIER, L. de. S.; BARBALHO, M. G. da. S. **Atlas geoambiental das nascentes dos rios Araguaia e Araguinha: condicionantes dos processos erosivos lineares**. Goiânia: Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Goiás, 75 p., 2004.
- CASTRO, S. S. de. Erosão hídrica na alta bacia do rio Araguaia: distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual. **Revista do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo**, São Paulo, v. 17, p. 38-60, 2005.
- CAVALCANTE, E. G. S.; GENER, M. C. A.; PEREIRA, T., SOUZA, Z. M de E. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Ciência Rural, Santa Maria**, v.37, n.2, p.394-400, 2007.
- COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 743-753, 2003.
- CONCIANI, W. **Processos erosivos: conceitos e ações de controle**. Cuiabá: CEFET - MT, 148p., 2008.
- COUTINHO, F. S. **Atributos edáficos e qualidade do solo em áreas de agricultura, pastagem e fragmentos florestais na região do médio vale do Paraíba do Sul, Rio de Janeiro**. 2012. 60f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.
- COUTINHO, F. S.; PEREIRA, M. G.; TOSTES, J. O. ; FRANCELINO, M. R.; GAIA-GOMES, J. H. Georadar application in areas with different vegetation cover. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica, 2017. No prelo.
- COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M. LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. dos S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n.3, p.852-863, 2015.
- CUNHA S. B., GUERRA, A. T. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, ed. 3, 372p., 1996.
- CHEROBIN, S. F. **Estimativa de erosão e sua relação com os diferentes mecanismos erosivos atuantes: estudo da voçoroca Vila Alegre**. 2012. 115p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Ouro Preto. 2012.

DIAS, F. P.; HERRMANN, M. L. de P. Análise da susceptibilidade a deslizamentos no bairro Saco Grande, Florianópolis/SC. **Revista Universidade Rural**, Série Ciências Exatas e da Terr, v. 21, p. 91-104, 2002.

DONAGEMMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. de; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

DUMMER, J. **Análise dos Condicionantes do Meio e dos Usos Agrícolas na Ocorrência de Erosão Linear no Município de Chuvisca, RS**. 2014. 90f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

DURÃES, M. F. & MELLO, C. R de. Distribuição espacial da erosão potencial e atual do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, MG. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.21, n.4, p.677-685, 2016.

EBERHARDT, D. N.; VENDRAME, P. R. F.; BECQUER, T.; GUIMARÃES, M. de F. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em Latossolos sob pastagens no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32 p.1009-1016, 2008.

ELLISON, W.D. **Soilerosionstudiespartagriculturalengineering**. v. 28, n.4, p.145-146, 1947.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª Edição. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 306p., 2006.

EMBRAPA. **Manual de métodos de Análise de solo**. EMBRAPA/SNLCS. Rio de Janeiro, 212p., 2011.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação de Solos**. 3ª Edição. Rio de Janeiro, Embrapa solos 306p., 2013.

EPÓSITO, C. C.; BUENO, G. T.; LOBO, C. F. F.; SOUSA, J. B. de. Estrutura de rochas metassedimentares e vulnerabilidade aos movimentos de massa – bacia do córrego do cercadinho, Belo Horizonte-MG. **Revista de Geografia**, Recife, UFPE – DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO, n. 3, 2010.

FEITOSA, K. K A; VALE JÚNIOR, J. F. do; SCHAEFER, C. E. G. R.; SOUSA, M. I. L. de; NASCIMENTO, P. P. R. Relações solo-vegetação em “ilhas” florestais e savanas adjacentes, no nordeste de Roraima. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p.135-146, 2016.

FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSE, M. M.; GARCIAS, C. M. **Drenagem e controle da erosão urbana**. Ibrasa Champagnat, 442 p., 1988.

FERREIRA, V.M. **Voçorocas no município de Nazareno, MG: origem, uso da terra e atributos do solo**. 2005. 84p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

FLAUZINO, B. K. **Degradação do solo pela erosão hídrica e capacidade de uso em sub-bacia hidrográfica piloto no sul de Minas Gerais**. 2012. 91f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos-) – Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, 2012.

FREIRE, L.R., et al. **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília, DF: Embrapa; Seropédica, RJ: Editora Universidade Rural, 430 p, 2013.

GALETI, P. A. **Conservação do solo – reflorestamento – clima**. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 286p., 1973.

GOMIDE, P. H. O.; SILVA, M. L. N.; SOARES, C. R. F. S. **Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras – MG**. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 35, p.567-577, 2011.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Frações da matéria orgânica em áreas de Latossolos sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do Estado de Goiás. **Semina: Ciências agrárias**, v.34, p.2615-2628, 2013.

GUERRA, A. J. T. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, ed. 2, 340p., 2005.

GUERRA, A. J. T.; GONÇALVES, L. F. H.; LOPES, P. B. M. Evolução histórico-geográfica da ocupação desordenada e movimentos de massa no município de Petrópolis, nas últimas décadas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 8, p.35-43, 2007.

HAMMER, O.; HARPER, D.A.; RYAN, P.D. **PAST - Paleontological Statistics ver. 1.12**. 2004.

HASUI, Y.; FACINCANI, E. M.; SANTOS, M.; JIMÉNES RUEDA, J. R. A. Aspectos estruturais e neotectônicos na formação de boçorocas na região de São Pedro, SP. **Geociências**, São Paulo, v.14, n.2, p.59-76. 1995.

HERLIHY, M.; McCARTHY, J. Association of soil-test phosphorus with phosphorus fractions and adsorption characteristics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.75, p.79-90, 2006.

HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L.; PRUSKI, F. F.; MARIA, I. C. de; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J. C. **A erosão e seu impacto**. p.47-60. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J. R. R. Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 174p., 2002.

INFANTI JUNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N. **Processos de dinâmica superficial**. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. Geologia de engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p.131-152, 1998.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 178 p., 2002.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos. 456p., 2011.

LIMA, M.S.B. **Movimentos de Massa nos Barrancos do Rio Acre e implicações sócio-econômicas na área urbana de Rio Branco/Acre**.1998. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Santa Catarina, Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, Florianópolis, 1998.

LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S. de; SILVA, S. de A. Distribuição espacial da matéria orgânica, grau de flocculação e argila dispersa em água em área de vegetação natural em regeneração e pastagem. **Revista Árvore**, Viçosa, v.37, n.3, p.539-546, 2013.

LIMA, S. S.; SILVA, R. M.; SCORIZA, R.; PONTES, R. M.; PEREIRA, M. G. Macrofauna edáfica em topossequência com ocorrência de ninhos epígeos de térmitas em ambiente de “Mar de Morros” Pinheiral – RJ. **III Simpósio de Pesquisa em Mata Atlântica**, 2014.

MACHADO, R. L. **Perda de solo e nutrientes em voçorocas com diferentes níveis de controle e recuperação no médio vale do Rio Paraíba do Sul, RJ**. 2007. 86f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.

MAGALHÃES, R. A. Erosão: Definições, Tipos e Formas de Controle. **VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão**, Goiânia, 2001.

MAGALHÃES, R. C. **As características físicas, químicas, mineralógicas e hidráulicas do solo e sua susceptibilidade ao processo de terras caídas: comunidade Divino Espírito Santo**. 2011. 135f. Dissertação (Mestrado em Geografia) — Universidade Federal do Amazonas, 2011.

MARINHESKI, V. Aspectos sobre a erosão pluvial em usos agropecuários. **Revista Espacios**, Colômbia, ed. 5, v. 37, 2016.

MARQUES, R.; SOUZA, R.; BATALHA, C. Fatores controladores da formação de voçorocas na microbacia hidrográfica Zé Açú, Parintins-AM. **Revista Geonorte**, Amazonas, v.10, p.380-385, 2016.

MARTINS FILHO, M.V.; LICCIOTI, T.T.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JÚNIOR, J.;SANCHEZ, R.B. Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal,v.29, p.8-18, 2009.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: Alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, p.1197-1206, 2011.

MENEZES, C. E. G. **Diagnóstico de degradação do solo em função da topografia e cobertura vegetal no município de Pinheiral-RJ**.1999. 186p. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1999.

MENEZES, C. E. G. **Integridade de paisagem, manejo e atributos do solo no médio vale do Paraíba do Sul, Pinheiral-RJ**. 2008. 160f. Tese (Doutorado em Agronomia-Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

MENDONÇA, P. G. **Simulação espacial da perda de solo e nutrientes por erosão em um Argissolosob cultivo de cana-de-açúcar**. 2013. 110f. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal, 2013.

MIQUELONI, D. P.; BUENO, C. R. P.; FERRAUDO, A. S. Análise espacial dos fatores da equação universal de perda de solo em área de nascentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.9, p.1358-1367, 2012.

MIQUELONI, D. P.; GIANELLO, E. M.; BUENO, C. R. P. Variabilidade espacial de atributos e perda de solo na definição de zonas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiás, v.45, n. 1, p. 18-28, 2015.

MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA G. T.; SOUZA, Z. M. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.1, p.69- 77, 2005.

MONTANARI, R.; PEREIRA, G. T.; JÚNIOR, J. M.; SOUZA, Z. M. PAZETO, R. J.; CAMARGO, L. A. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolos e Argissolos. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.5, p.1266-1272, 2008.

NETTO, M. M.; SOBREIRA, F. G. Os processos erosivos lineares na bacia hidrográfica do Ribeirão Carioca, Itabirito/MG e seus condicionantes principais: observações preliminares. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v.7, n. 2, p. 13-21, 2006.

NETO, M. S.; PICCOLO, M. de C.; SCOPEL, E.; JUNIOR, C. da C.; CERRI, C. C.; BERNOUX,M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado.**Acta Scientiarum**, Maringá, v.31, n.4, p. 709-717, 2009.

OLIVEIRA, L. M. **Guia de prevenção de acidentes geológicos urbanos**. Curitiba:Mineropar, 52p.,1998.

OLIVEIRA, B. E. N. de. **Mapeamento, identificação e análise dos fatores relacionados aos processos erosivos no Distrito Federal– ênfase nas voçorocas**. 2011. 180f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, 2011.

OLIVEIRA, A. H; Silva, M. A. da; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; CURI, N.; LIMA, G. C.; PEREIRA, P. H. Caracterização ambiental e predição dos teores de matéria orgânica do solo na sub-bacia do Salto, Extrema, MG. **Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, p.143-154, 2012.

PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; FONTANA, A.; HYPÓLITO, A. Caracterização e classificação de solos em uma topossequência sobre calcário na Serra da Bodoquena, Ms. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n. 1, p.25-36, 2012.

PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: Editora UFV, ed.2, 279p., 2009.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2015.URL<https://www.R-project.org/>.

RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: Base para distinção de ambientes**. Viçosa: NEPUT, ed. 2, 367p.,1997.

RESENDE, M. **Pedologia: Base para distinção de ambientes**. Lavras: UFLA, ed. 5, 2007.

RODRIGUES, J. E. **Estudo de fenômenos erosivos acelerados: boçorocas**. 1982. 162f. Tese de Doutorado em Engenharia Civil apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1982.

ROSSETTI, K. DE V & CENTURION, J. F. Estoque de carbono e atributos físicos de um Latossolo em cronosequências sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.3, p.252–258, 2015.

RUBIRA, F. G.; MELO, G. do V. de; OLIVEIRA, F. K. S. de. Proposta de padronização dos conceitos de erosão em ambientes úmidos de encosta. **Revista de Geografia**, Recife, v. 33, n. 1, p.169-193 2016.

SALOMÃO, F. X. de T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos – conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, cap. 7, p.229-267, 1999.

SALOMÃO, F. X.; ANTUNES, F. S. Solos em Pedologia-Geologia de Engenharia, Oliveira S. A. & Brito S. A. (eds.), **Associação Brasileira e Geologia de Engenharia-ABGE**, São Paulo, Brasil, p.87-99, 1998.

SANCHEZ, R.B.; JÚNIOR, M. J.; SOUZA, Z. M. de; PEREIRA, G. T.; FILHO, M. V. M. Variabilidade Espacial de Atributos do Solo e de Fatores de Erosão em Diferentes Pedofomas. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.4, p.1095-1103, 2009.

SANTOS, R. M. M. **Caracterização geotécnica e análise do processo evolutivo das erosões no Município de Goiânia**. 1997. 120 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia)-Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 1997.

SANTOS, A. do C. **Pedogênese e alterações geoquímicas em topolitossequências na Bacia do Ribeirão do Cachimbal na Região do Médio Vale do Paraíba, RJ**. 2009. 246p. Tese (Doutorado em Agronomia-Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

SANTOS, J. T. dos; ANDRADE, A. P. de; SILVA, I. de F. da; SILVA, D. S. da; SANTOS, E. M.; SILVA, A. P. G. da. Atributos físicos e químicos do solo de áreas sob pastejo na micro região do brejo paraibano. **Revista Ciência Rural**, Viçosa, v.40, n.12, p.2486-2492, 2010.

SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, p.1339-1348, 2011.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 353 p, 2013.

SANTOS, R. D. dos.; SANTOS, H. G. dos.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coletas de solos no campo**. 7.ed. Viçosa, MG:

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 101 p., 2015.

SILVA, J.R.C.A **conservationist approach for Brazilian soils using a geographic information system.**(Tese de Doutorado)Ithaca, Cornell University. 1990. 280p.

SILVA, G. R. da; SILVA, M. L. da; MELO, V. S. de. Efeitos de diferentes usos da terra sobre as características químicas de um Latossolo Amarelo do estado do Pará. **Acta Amazônica**, Manaus,v.36, p.151-158, 2006.

SILVA, A. M.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; AVANZI, J.C.; FERREIRA, M.M.Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolona região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.1811-1820, 2009.

SILVEIRA, C. T da; FIORI, A. P.; FERREIRA, A. M.; GÓIS, J. R. de; MIO, G. de; SILVEIRA, R. M. P; MASSULINI, N. E. B.; LEONARDI, T. M. H. Emprego de atributos topográficos no mapeamento da susceptibilidade a processos geoambientais na Bacia do rio Jacareí, Paraná. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 25, ed. 3: p.623-639, 2013.

SILVEIRA, C. P. L. da.**Caracterização de solos e sedimentos em depósitos e fontes em potencial na bacia hidrográfica do Arroio Pelotas.** 2015. 127f. Dissertação (Mestrado em recursos Hídricos). Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2015.

SISTI, C. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.

SOUSA, A. T. de.**Caracterização de voçorocas em bordas de relevo residual tabular em Quirinópolis-GO.** 2010. 162f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Goiás. 2010.

SOUZA, Z. M; MARQUES JUNIOR, J., PEREIRA, G. T., MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, p.1763-1771, 2004.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T., BARBIERI, D. M. Effects of relief shapes on soil chemical properties of aOxisol cultivated with sugar cane. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.63, n. 2, p.161-168, 2006.

THEODORO, V. C. A.; ALVARENGA, M. I. N.; GUIMARÃES, R. J.; SOUZA, C. A. S. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1039-1047, 2003.

VERHAEGEN, T. H. The influence of soil properties on the erodibility of Belgian loamy soils: a study base on rainfall simulation experiments. **Earth Surface Processes and Landforms**, Sussex, v.9, p.499-507, 1984.

VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D.**Modern Applied Statistics with S.** Fourth edition, 2002.

VIEIRA, C. L.; VERDUM, R. Arenização e erosão hídrica no sudoeste do rio grande do sul: análise dos agentes condicionantes e considerações básicas para intervenções mecânico-vegetativas. **Revista de Geografia (UFPE)** v. 32, n. 1, 2015.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M.A **rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil.**Communications in Soil Science and Plant Analysis, New York, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

ZUQUETTE, L. V.; CARVALHO, J. A. R.; YAMANOUTH, G. R. D. B. Feições erosivas na bacia do córrego do Espriado, São Pedro, seus tipos e evolução entre 1972 - 2002. **Revista Brasileira de Geociências**, Curitiba, v. 37, p. 414-425, 2007.

<http://www.fao.org/3/a-i6468e.pdf>

<http://www.jornalagricola.wordpress.com>
<http://conservandoosolo.blogspot.com.br>

ANEXOS

DESCRIÇÃO GERAL DO PERFIL ABERTO AO LADO DA VOÇOROCA EM PEDOFORMA CÔNCAVA – P1

Data da descrição: 05.12.2015

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: Município de Pinheiral-RJ

LOCALIZAÇÃO: 22°49'440'S / 042°03'442' W.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL-
Trincheira aberta no terço superior da encosta, sob vegetação de pastagem.

ALTITUDE: 434 metros.

LITOLOGIA: Biotita Muscovita Gnaiss.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Paraíba do Sul.

CRONOLOGIA: Terciário.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Rocha ácida gnaiss e sedimentos coluviais.

PEDREGOSIDADE: Ligeiramente pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não Rochosa.

RELEVO LOCAL: Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL: Variando de suave ondulado à forte ondulado.

EROSÃO: Muito forte.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta subtropical subcaducifólia.

USO ATUAL: Pasto.

CLIMA: Aw, clima seco em estação de inverno pela classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR - Marcos Gervasio Pereira, Carlos Eduardo Gabriel Menezes.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A- 0-12 cm, bruno-acinzentado escuro (10YR 4/2, úmida) e bruno (10YR 5/3, seca); argilo-arenosa, muito pequenafracagranular; ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

AB- 12- 23 cm, bruno-acinzentado escuro (10YR 4/2, úmida) e bruno (10YR 5/3, seca); argilo-arenosa; muito pequenafraca granulare pequena fracablocossubangulares; ligeiramente duro, muito friável, plástica epegajosa; transição plana e gradual.

BA- 23-39 cm, bruno escuro(7,5 YR 5/6); argilo-arenosa; forte muito pequena blocossubangulares, ligeiramente duro, friável,plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

Bw1- 39-59 cm, bruno escuro(7,5 YR 5/6); argilosa; forte pequena e médiablocos angulares e subangulares; duro,friável,plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

Bw2- 59-93 cm, vermelho amarelado(5 YR 5/8); argilo-arenosa; forte pequena a muito pequena e médiablocos subangulares; duro,friável,plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

Bw3- 93-116 cm⁺, vermelho amarelado(5 YR 5/8); argilo-arenosa; muito pequena forte blocos subangulares; duro,friável,plástica e pegajosa.

Análises Físicas e Químicas

Horizonte		Frações da amostra total g/kg			Composição granulométrica da terra g/kg			Argila dispersa em água g/kg	Grau deflocação %	Relação Silte/Argila	Densidade Mg/m ³		Porosidade de cm ³ /100cm ³	
Símbolo	Profundidade cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia Total 2-0,05 mm (g/kg)	Silte 0,05-0,002 mm (g/kg)	Argila <0,002 mm (g/kg)				Solo	Partículas		
A	0-12	-	-	-	468	182	350	320	8,6	0,52	-	-	-	
AB	12-23	-	-	-	332	260	408	330	13	0,63	-	-	-	
BA	23-39	-	-	-	400	181	419	370	12	0,43	-	-	-	
Bw1	39-59	-	-	-	381	186	433	360	17	0,44	-	-	-	
Bw2	59-93	-	-	-	560	170	270	30	39	0,62	-	-	-	
Bw3	93-116 ⁺	-	-	-	570	180	250	30	41	0,72	-	-	-	
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo Sortivocmol/kg								Valor V (sat. por bases)	$\frac{100Al^{+3}}{S+Al^{+3}}$	P Assimilável mg/kg	
	Água	KCl 1mo L ⁻¹	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ⁺³	H ⁺	Valor T				
A	4,66	-	0,35	0,70	0,03	0,003	1,08	1,20	1,65	4,12	26	53	7,15	
AB	4,34	-	0,28	0,68	0,02	0,004	0,99	1,94	1,22	4,35	23	66	7,00	
BA	4,31	-	0,25	0,62	0,02	0,004	0,89	2,00	1,03	4,12	22	69	7,10	
Bw1	4,28	-	0,24	0,68	0,02	0,004	0,94	2,08	0,94	4,25	22	69	6,60	
Bw2	4,27	-	0,20	0,58	0,01	0,004	0,80	2,12	0,50	4,22	19	72	6,50	
Bw3	4,22	-	0,15	0,51	0,01	0,003	0,68	2,25	0,40	4,18	16	77	5,32	
Horizonte	C (orgânico) g/kg	N g/kg	C/N	Ataque sulfúrico g/kg						Relações Moleculares			Fe ₂ O ₃ (DCB) g/kg	Equivalente de CaCO ₃ g/kg
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (ki)	SiO ₂ /R ₂ O ₃ (kr)	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃		
A	12,79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AB	11,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BA	10,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bw1	6,58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bw2	7,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bw3	2,72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

DESCRIÇÃO GERAL DO PERFIL ABERTO AO LADO DA VOÇOROCA EM PEDOFORMA CONVEXA – P2

Data: 06.12.2015

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: LATOSSOLO AMARELO.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: Município de Pinheiral-RJ

LOCALIZAÇÃO: 22°49'420"S / 042°03'431' W.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL- Trincheira aberta no terço superior da encosta, sob vegetação de pastagem.

ALTITUDE: 440 metros.

LITOLOGIA: Biotita Muscovita Gnaisse.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Paraíba do Sul

CRONOLOGIA: Terciário.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Rocha ácida gnaisse e sedimentos coluviais.

PEDREGOSIDADE: Ligeiramente pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não Rochosa.

RELEVO LOCAL: Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL: Variando de suave ondulado à forte ondulado.

EROSÃO: Forte.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta subtropical subcaducifólia.

USO ATUAL: Pasto sujo.

CLIMA: Aw, clima seco em estação de inverno pela classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR - Marcos Gervasio Pereira, Carlos Eduardo Gabriel Menezes.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A- 0-16 cm, bruno escuro (10YR 4/3, úmida) e bruno (10YR 5/3, seca); argilo-arenosa, forte médio granular; ligeiramente duro, muito friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e gradual.

A2- 16-35 cm, bruno escuro(10 YR 4/3) e bruno (10YR 5/3, seca); argilo-arenosa; forte média granular; ligeiramente duro,muito friável,plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

AB- 35- 49 cm, bruno escuro (10YR 4/3, úmida) e bruno (10YR 5/3, seca); argilo-arenosa; fortemédiagranular; ligeiramente duro, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

BA- 49-62 cm, bruno forte(7,5 YR 5/6); argilo-arenosa; forte pequena blocossubangulares, ligeiramente duro, friável,plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Bw1- 62-91 cm, bruno forte(7,5 YR 5/6); argilo-arenosa; forte pequena blocossubangulares; duro,friável,plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

Bw2- 91-114 cm⁺, bruno forte(7,5 YR 5/6); argilo arenosa; forte muito pequena blocossubangulares; duro,friável,plástica e ligeiramente pegajosa.

Análises Físicas e Químicas

Horizonte		Frações da amostra total g/kg			Composição granulométrica da terra g/kg			Argila dispersa em água g/kg	Grau deflocculação %	Relação Silte/Argila	Densidade Mg/m ³		Porosidade cm ³ /100cm ³	
Símbolo	Profundidade cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina <2 mm	Areia Total 2-0,05 mm (g/kg)	Silte 0,05-0,002 mm (g/kg)	Argila <0,002 mm (g/kg)				Solo	Partículas		
A	0-16	-	-	-	455	172	375	310	17	0,45	-	-	-	
A ₂	16-35	-	-	-	450	170	380	330	13	0,44	-	-	-	
AB	35-49	-	-	-	411	150	439	290	34	0,34	-	-	-	
BA	49-62	-	-	-	393	190	417	300	28	0,45	-	-	-	
B ₁	62-91	-	-	-	500	140	360	60	83	0,46	-	-	-	
B ₂	91-114	-	-	-	510	170	302	60	80	0,47	-	-	-	
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo Sortivocmol/kg								Valor V (sat. por bases)		$\frac{100Al^{+3}}{S+Al^{+3}}$	P Assimilável mg/kg
	Água	KCl1mo L ⁻¹	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ⁺³	H ⁺	Valor T				
A	4,55	-	0,30	0,87	0,02	0,004	1,19	1,56	2,45	5,21	23		57	8,21
A ₂	4,51	-	0,26	0,80	0,02	0,003	1,08	1,70	1,67	4,45	24		61	8,16
AB	4,29	-	0,23	0,71	0,01	0,003	0,96	1,92	1,53	4,41	22		67	8,00
BA	4,27	-	0,19	0,72	0,01	0,003	0,92	2,15	0,56	3,63	25		70	7,46
B ₁	4,26	-	0,16	0,71	0,01	0,004	0,88	2,13	0,65	3,66	24		71	7,40
B ₂	4,23	-	0,15	0,65	0,01	0,003	0,81	2,15	0,50	3,46	23		73	6,20
Horizonte	C (orgânico) g/kg	N g/kg	C/N	Ataque sulfúrico g/kg						Relações Moleculares			Fe ₂ O ₃ (DCB) g/kg	Equivalent e de CaCO ₃ g/kg
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (ki)	SiO ₂ /R ₂ O ₃ (kr)	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃		
A	20,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A ₂	12,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AB	11,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BA	8,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B ₁	9,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B ₂	7,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-