



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS – *CAMPUS BAMBUI*
MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA
AMBIENTAL

Tainara Silveira Leal Chicri

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E HIDRÁULICAS DE BACIAS DE RETENÇÃO
IMPLANTADAS PELO PROGRAMA “Vida Nova Rio Formiga”**

Bambuí – MG
2022

TAINARA SILVEIRA LEAL CHICRI

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E HIDRÁULICAS DE BACIAS DE RETENÇÃO
IMPLANTADAS PELO PROGRAMA “Vida Nova Rio Formiga”**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação. Mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG/*Campus* Bambuí, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

Linha de Pesquisa: Planejamento e Gestão Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Sousa Cavalcanti

Coorientador: Prof. Dr. Leyser Rodrigues Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi

Bambuí – MG

2022

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí

C533c Chicri, Tainara Silveira Leal.
Características físicas e hidráulicas de bacias de retenção implantadas pelo programa “Vida Nova Rio Formiga”. / Tainara Silveira Leal Chicri. – Bambuí, 2022.
61 f.: il.; color.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Sousa Cavalcanti.
Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2022.

1. Barraginhas. 2. Técnicas conservacionista de solo. 3. Características físicas e hidráulicas do solo das bacias de retenção. I. Cavalcanti, Ricardo Sousa. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG. III. Título.

CDD 551.48398151



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Bambuí
Diretoria de Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação
Seção de Pós-Graduação
Av. Professor Mário Werneck, 1590 - Bairro Burtão - CEP 30575-180 - Belo Horizonte - MG
37 3431 4000 - www.ifmg.edu.br

PARECER N° 1

FICHA DE APROVAÇÃO

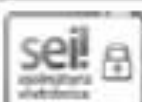
Dissertação de Mestrado, intitulada "Características físicas e hidráulicas de bacias de retenção e retenção implantadas pelo Programa – Vida Nova rio Formiga", de autoria da mestranda em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, Tainara Silveira Leal Chicri, sob a orientação do professor Dr. Ricardo Sousa Cavalcanti e coorientadores docentes Leyser Rodrigues de Oliveira e Michael Silveira Thebaldi, obteve aprovação pela Banca Examinadora de Defesa, em 28/01/2022, com a média de 81,17 pontos.

A análise das correções finais da dissertação sugeridas pela Banca Examinadora será feita pela equipe de orientação.

Houve alteração no título da Dissertação, passando a ser: "Características físicas e hidráulicas de bacias de retenção implantadas pelo Programa – Vida Nova rio Formiga."

A Defesa Pública contou com a presença de Nathália Pereira de Jesus (egressa do MPSTA) que após a divulgação da defesa pela Secretaria do MPSTA manifestou interesse em assisti-la, dessa forma houve a liberação do link de acesso a sala virtual.

Bambuí (MG), 28 de janeiro de 2022.



Documento assinado eletronicamente por Fernando Neris Rodrigues, Usuário Externo, em 30/01/2022, às 21:18, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por Michael Silveira Thebaldi, Usuário Externo, em 31/01/2022, às 06:58, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por Ariana Cristina Santos Almeida, Professora, em 31/01/2022, às 08:59, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por Vladimir Antonio Silva, Professor, em 31/01/2022, às 09:53, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por LEYSER RODRIGUES OLIVEIRA, Usuário Externo, em 31/01/2022, às 10:34, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.

Documento assinado eletronicamente por Ricardo Sousa Cavalcanti, Professor, em 02/02/2022, às 10:02, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus e a minha Nossa Senhora Aparecida por me abençoar com o dom da vida, pela minha saúde, por me agraciar com tantas oportunidades e por me guiar em todos os momentos. Obrigada por sempre colocar pessoas maravilhosas em meu caminho.

Ao meu marido Salomão, pela paciência, amor, carinho, ajuda e compreensão.

Aos meus pais e irmãos, por sempre me apoiarem me motivando a seguir em frente. É bom saber que posso contar com vocês em todos os momentos.

Ao meu orientador professor Ricardo Sousa Cavalcanti e aos meus coorientadores Leyser Rodrigues Oliveira e Michael Silveira Thebaldi pela oportunidade de realizar este trabalho com valiosas contribuições e conhecimentos a mim oferecidos, pela orientação, dedicação, confiança, ensinamentos, compreensão e paciência.

Aos professores membros da banca pela disponibilidade em contribuir com este trabalho.

A todos os professores e funcionários do Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do IFMG, por toda dedicação e ensinamentos.

As amigas conquistadas durante o mestrado, obrigada pelas risadas e momentos únicos.

Ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE de Formiga, por meio do Programa Vida Nova Rio Formiga projeto “Santuário das Águas”, ao diretor Flávio Passos, aos meus colegas de trabalho, aos funcionários e membros da UGP (Unidade Gestora de Projetos), por todo apoio, pela parceria, oportunidade, incentivo e credibilidade.

Ao UNIFOR – Centro Universitário de Formiga pelo empréstimo dos equipamentos para realização dos ensaios de forma a contribuir com os resultados desse trabalho, meu muito obrigado.

Não importa o que as pessoas pensam,
se você acredita que vale a pena, lute por isso.

BIOGRAFIA

Discente: Tainara Silveira Leal Chicri

Data de nascimento: 09/01/1990

Filiação: Suéro Caetano Leal
Gisélia Maria da Silveira Leal

Naturalidade: Formiga

Estado: Minas Gerais

Informações Escolares:

Ensino Médio: Escola Estadual “Padre José Venâncio”

Curso Superior:

- Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Centro Universitário de Formiga – UNIFOR-MG (2008-2013). Título do trabalho de conclusão de curso: Análise da eficiência do sistema de tratamento de chorume (lixiviado) no aterro sanitário do município de Formiga – MG. Orientadora: Prof^a. M.Sc. Christiane Pereira Rocha.

Experiência Profissional: Servidora pública do Município de Formiga - MG, atuou como Encarregada Técnica no período de abril de 2014 a dezembro de 2016 no Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE de Formiga. Atuou como Assessora Técnica no Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE de Formiga no período de janeiro de 2017 a outubro de 2018. Presta consultoria nas áreas ambiental (desde 2014). Atua como Assessora de Engenharia e Sanitarismo no Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE de Formiga desde outubro de 2018 sendo responsável técnica ambiental pelo sistema de saneamento.

RESUMO

Sendo uma das técnicas conservacionistas de solo, as bacias de retenção têm o propósito do acúmulo de água com o amortecimento do fluxo, reduzindo o pico de vazão, armazenando-a temporariamente além de sedimentar os sólidos em suspensão. Em alguns casos a água armazenada pelas bacias de retenção geram a recarga do aquífero subterrâneo, colaborando à longo prazo na diminuição de poluentes e o aumento da qualidade da água. O uso de bacias de retenção de água e sedimentos em programas de proteção de bacia hidrográfica, como do programa Produtor de Água da Agência Nacional de Águas (ANA), tem focado majoritariamente no planejamento técnico e de custos das mesmas, entretanto, pouca atenção tem sido dada ao fato de que a técnica demanda manutenção constante. Neste contexto, o presente estudo tem o objetivo de avaliar as características físicas e hidráulicas de bacias de retenção implantadas no projeto piloto pelo “Programa Vida Nova Rio Formiga” de forma a propiciar o estabelecimento de medidas quanto ao seu manejo, a partir de seu monitoramento, conforme metodologia utilizada neste trabalho. Para determinar o nível máximo de água e o aporte de sedimentos nas bacias de retenção utilizou-se um sistema de monitoramento da infiltração de água em terraços e bacias de retenção, para determinar a condutividade hidráulica do solo saturado, utilizou-se o Permeâmetro de Guelph, para mensurar a resistência a penetração do solo foi utilizado um Penetrômetro de Impacto tipo Stolf e, a fim de avaliar a umidade do solo destas estruturas, foram coletadas amostras indeformadas de solo. A metodologia utilizada mostrou-se sensível em diagnosticar as alterações no nível de água e a quantidade de sedimentos nas bacias de retenção. As bacias de retenção na área de estrada receberam maior aporte de água e de sedimentos quando comparadas às bacias em área de pastagem e o uso do equipamento de acompanhamento do nível de água e de sedimentos tem potencial para ser extrapolado à sua utilização em todas as bacias de área de estrada e em área de pastagem do Programa.

PALAVRAS-CHAVE: Barraginhas. Técnicas Conservacionista de Solo. Características Físicas e Hidráulicas do solo das bacias de retenção.

ABSTRACT

As one of the soil conservation techniques, retention basins have the purpose of accumulating water with the runoff dampening, reducing the flow peak, storing it temporarily in addition to sedimenting suspended solids. In some cases, the water stored by the retention basins generates the recharge of the groundwater, contributing in the long term to reducing pollutants and increasing water quality. The use of water and sediment retention basins in watershed protection programs, such as the "Produtor de Água" program of the National Water Agency (ANA), has mostly focused on their technical and cost planning, however, little attention has been given to them to the fact that the technique demands constant maintenance. In this context, this study aims to evaluate the physical and hydraulic characteristics of retention basins implemented in the pilot project "Programa Vida Nova Rio Formiga" in order to provide the establishment of measures regarding its management, proposing for the Program to monitor the road retention basins with the methodology used in this work. To determine the maximum water level and sediment intake in the retention basins, a monitoring system of water infiltration in terraces and retention basins was used. To determine the saturated soil hydraulic conductivity, the Guelph Permeameter was used; to measure soil penetration resistance, a Stolf Impact Penetrometer was used; and in order to evaluate the soil moisture of these structures, undisturbed soil samples were collected. The methodology used was sensitive in diagnosing changes in water level and the amount of sediment in the retention basins. The retention basins in the road area received greater water and sediment intake when compared to the basins in pasture area and the use of water and sediment level monitoring equipment has the potential to be extrapolated to their use in all basins of the Program's road area.

Keywords: Retention Basins. Soil Conservation Techniques. Physical and Hydraulic Characteristics of the soil of the retention basins.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Bacia de retenção na área de estudo na área de estrada..... | 24 |
| Figura 2– Imagem aérea da distribuição geográfica das bacias de contenção na área de estudo..... | 31 |
| Figura 3 – Imagem aérea da distribuição geográfica das bacias de retenção na área de estudo..... | 32 |
| Figura 4 – Boias do sistema de monitoramento de infiltração das bacias de retenção de água e sedimentos..... | 34 |
| Figura 5 – Anéis de nível obtidos a partir de seções transversais de tubos de polietileno..... | 35 |
| Figura 6 – Croqui do sistema plenamente montado..... | 36 |
| Figura 7 – Resistência à penetração, no perfil de 0 até 40 cm, na área externa adjacente às bacias de retenção de água e sedimentos em estudo..... | 41 |
| Figura 8 – <i>Box-plots</i> dos valores observados do nível de água em cada uma das bacias de retenção de água e sedimentos monitoradas..... | 44 |
| Figura 9 – Comparação múltipla entre amostras de nível de água em cada uma das bacias de retenção de água e sedimentos estudadas..... | 45 |
| Figura 10– <i>Box-plots</i> dos valores observados dos sedimentos em cada uma das bacias de retenção de água e sedimentos monitoradas..... | 46 |
| Figura 11– Comparação múltipla entre amostras de sedimentos em cada uma das bacias de retenção de água e sedimentos estudadas..... | 51 |
| Figura 12– Resistência à penetração média, no perfil de 0 até 40 cm, nas bacias de retenção de água e sedimentos e na área preservada em estudo..... | 52 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Índice Pluviométrico medido na Estação Meteorológica Automática de Formiga/MG – A524, entre os anos de 2019 e 2020..... | 29 |
| Tabela 2- Coordenadas geográficas das bacias de retenção objeto de estudo com coordenadas centrais em UTM, Datum Sirgas, 2000 – Zona 23K..... | 33 |
| Tabela 3- Análise granulométrica textural do solo, superficial, nas bacias de retenção de água e sedimentos em estudo | 38 |
| Tabela 4- Umidade gravimétrica do solo em diferentes profundidades de áreas internas e próximas às bacias de retenção de água e sedimentos avaliadas, além de área preservada adjacente..... | 40 |
| Tabela 5- Condutividade hidráulica, em mm/hora, encontrada nas bacias de retenção de água e sedimentos em estudo..... | 48 |
| Tabela 6-Tabela resumo da ANOVA das áreas avaliadas sobre a resistência a penetração..... | 49 |
| Tabela 7 – Médias de resistência à penetração em bacias de retenção de água e sedimentos e área preservada avaliadas..... | 49 |

SUMÁRIO

| | | |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 13 |
| 2 | OBJETIVOS | 14 |
| 2.1 | Objetivos Gerais..... | 14 |
| 2.2 | Objetivos Específicos..... | 14 |
| 3. | REFERENCIAL TEÓRICO..... | 15 |
| 3.1 | Ciclo Hidrológico e Sedimentológico..... | 15 |
| 3.2 | Erosão e processos erosivos..... | 19 |
| 3.2.1. | Erosividade e erodibilidade..... | 22 |
| 3.3 | Práticas mecânicas de Conservação do Solo e da Água..... | 23 |
| 3.3.1. | Bacias de Detenção de Água..... | 23 |
| 3.4 | Aspectos sobre o desenvolvimento do uso e ocupação em áreas rurais..... | 25 |
| 3.4.1. | Importâncias das bacias de contenção para a conservação de estradas e infiltração..... | 27 |
| 4. | MATERIAL E MÉTODOS..... | 29 |
| 4.1 | Caracterização da área de estudo..... | 29 |
| 4.2 | Sistema de Monitoramento da Infiltração de Água em Bacias de Retenção e sua instalação..... | 33 |
| 4.3 | Ensaio de Resistência a Penetração nas Bacias de Retenção..... | 36 |
| 4.4 | Caracterização física e hidráulica do solo..... | 37 |
| 4.4.1 | Ensaio de Permeabilidade nas Bacias de Retenção..... | 37 |
| 4.4.2 | Análise textural..... | 38 |
| 4.4.3 | Densidade do solo, umidade volumétrica, densidade de partículas e porosidade..... | 38 |
| 5. | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 41 |
| 5.1 | Sistema de Monitoramento da Infiltração de Água em Bacias de Retenção..... | 41 |
| 5.2 | Condutividade Hidráulica do Solo nas Bacias de Retenção..... | 48 |
| 5.3 | Resistência à Penetração nas Bacias de Retenção..... | 49 |
| 6 | CONCLUSÃO..... | 54 |
| 7 | ELABORAÇÃO DE PRODUÇÃO TÉCNICA E TECNOLÓGICA..... | 54 |
| | REFERÊNCIAS..... | 57 |

1. INTRODUÇÃO

Apesar da grande quantidade de água presente no planeta, a escassez hídrica é uma realidade em muitas regiões do mundo, sendo que apenas uma pequena parcela é adequada para o consumo humano e não se encontra distribuída equitativamente (GREY et al., 2013; CARVALHO, 2014). O solo e a água são elementos fundamentais no desenvolvimento e sustentabilidade de sistemas agrícolas e naturais e de acordo com Peixoto (2019), a poluição, o desmatamento, a degradação do solo e da água são ações do homem que afetam diretamente o equilíbrio da natureza, intensificando os impactos ambientais de forma negativa, o que causa grandes prejuízos ambientais como, por exemplo, a contaminação da água e a intensificação de processos erosivos advindos da falta de planejamento da bacia hidrográfica e o uso inadequado dos recursos naturais.

A escassez dos recursos hídricos é um problema que afeta grande parte do Brasil, onde a falta de estrutura e investimento em ações que minimizem estes impactos vem agravando este cenário. O município de Formiga enfrentou no ano de 2014 uma crise hídrica e gerou grande preocupação e ocasionando desabastecimento em várias residências. O Serviço Autônomo de Água e Esgoto - SAAE, responsável pelo abastecimento público da cidade, forneceu água, priorizando por meio de caminhões pipas, somente para atividades essenciais durante os dias mais críticos e, toda a população vive em regime constante de economia de água (SAAE, 2018). A captação de água do município é feita no Rio Formiga, principal manancial da cidade, e que abastece a Estação de Tratamento de Água (ETA), existem também diversos poços artesianos distribuídos em toda a extensão urbana e rural do município, que auxiliam no abastecimento (SAAE, 2018).

A partir da crise hídrica foi idealizado o “Programa Vida Nova Rio Formiga” (PVNRF) aprovado pela Lei Municipal 5082/2016, ratificada pela Lei nº 5157/2017 e regulamentada pelo Decreto 7122/2017, tendo por objetivo a implantação de ações na sub-bacia do Rio Formiga para o aumento da quantidade e qualidade de suas águas, incentivando financeiramente os proprietários rurais, por meio do Pagamento por Serviços Ambientais – PSA, a adotarem práticas conservacionistas em suas propriedades rurais. O programa é gerenciado por entidades e órgãos públicos e financiado pela Agência Nacional de Águas – ANA por meio de seu programa Produtor de Águas (PVNRF, 2018). Assim, estratégias de conservação do solo como a construção de terraços (obras de terraceamento), implantação de bacias de retenção em estradas rurais e preservação de nascentes precisam ser intensificadas.

Estas práticas não somente minimizam os escoamentos superficiais, como garantem a infiltração de água no solo e a recarga de lençol freático, o que levará à uma maior oferta de água na estação seca. Essas consequências já podem ser verificadas nos Projetos Produtor de Água em Extrema - MG, Vida ao Marinheirando em Votuporanga – SP, Vida ao Córrego Olhos d'Água em Olímpia – SP, Programa Vida Nova Rio Formiga- MG, dentre outros, que se constituem em exemplos a serem seguidos.

Neste sentido, alguns tipos de estruturas visam atender à conservação, aproveitamento e mitigação, tendo em vista os diferentes tipos de solos, topografias e espaços territoriais disponíveis e uma das soluções está na alocação de bacias de retenção, estruturas que ao longo do tempo se tornaram alternativas econômicas e altamente viáveis. Essa técnica conservacionista têm o propósito do acúmulo de água com o amortecimento do fluxo, reduzindo o pico de vazão armazenando-a temporariamente e de sedimentar os sólidos em suspensão. Possuem, além do objetivo de conter as águas das chuvas, aumentando a retenção hídrica no interior dos solos, um caráter conservacionista em relação aos solos, proporcionando a esses, maior infiltrabilidade e controle de processos degradativos como as erosões. É esperado que em áreas onde tenham sido aplicadas técnicas conservacionistas de solo, ocorra nos primeiros estágios maior susceptibilidade a erosão, pela desagregação das partículas durante a execução das obras. Após algum tempo a estrutura do solo tende a ser recuperada proporcionando grande redução nas perdas de solo por erosão hídrica (YANG et al., 2009).

Bacias de retenção de água e sedimentos são estruturas mecânicas de conservação do solo e da água, que recebem o escoamento superficial direto. São estruturas semelhantes a represas, para que a água possa ser armazenada e infiltrada. São comumente utilizadas para proteção de estradas rurais e dimensionadas em função da precipitação máxima, por meio do uso de modelos de chuvas intensas para a região, da área de drenagem e sua declividade (PIRES; SOUZA, 2006). Podem propiciar a melhoria da qualidade e quantidade de água na bacia hidrográfica por meio da retenção de água e sedimentos, evitando a poluição dos corpos hídricos e aumentando a capacidade de infiltração da área antropizada (FIENER; AUERSWALD; WEIGAND, 2005).

A construção de bacias de retenção ajuda na solução do problema de drenagem das águas pluviais na zona rural, como também evita a erosão e deterioração das estradas vicinais. Além disso, possibilita criar uma reserva de água, armazenando as águas das chuvas, bem como a recarga do lençol freático. Deste modo, estudos relacionados à utilização racional dos recursos

naturais têm sido amplamente realizados e divulgados há vários anos, com o objetivo de estabelecer um desenvolvimento sustentável com vistas à de preservação e conservação.

As bacias de contenção têm elevado custo de construção e manutenção, uma vez que, a necessidade de dragar os sedimentos retidos para manter a capacidade da bacia é constante. De acordo com Fiener, Auerswald e Weigand (2005), as bacias são eficientes em reduzir o escoamento superficial, prevenir a erosão nas áreas inferiores e capazes de reter entre 50 a 80% dos sedimentos; para os autores, quando a técnica é combinada com medidas conservacionistas de solo é possível se reduzir os custos de manutenção das mesmas e reduzir danos às lavouras próximas.

O uso de bacias de retenção de água e sedimentos em programas de proteção de bacia hidrográfica, como é o caso do programa Produtor de Água da Agência Nacional de Águas (ANA) tem focado, majoritariamente, no planejamento técnico e de custos das mesmas. Entretanto, pouca atenção tem sido dada ao fato de que a técnica demanda manutenção constante. Desta forma torna-se fundamental estudar as características físicas e hidráulicas dessas bacias para fomentar o planejamento de atividades de manutenção em projetos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Avaliar as características físicas e hidráulicas de bacias de retenção implantadas no projeto piloto pelo “Programa Vida Nova Rio Formiga” de forma a propiciar o estabelecimento de medidas quanto ao seu manejo, a partir de seu monitoramento, conforme metodologia utilizada neste trabalho.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o escoamento superficial e a quantidade de sedimentos que, em média, são carregados para as bacias de retenção em um ciclo anual;
- Avaliar a condutividade hidráulica e a capacidade de infiltração na área interna e adjacente das bacias de retenção; e
- Avaliar a resistência à penetração do solo nas bacias de retenção.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Ciclo Hidrológico e Sedimentológico

A água é a base de toda a vida no planeta Terra e apesar de dois terços da superfície terrestre estarem cobertos por água, num volume que especialistas estimam em 1,5 bilhões de metros cúbicos, apenas cerca de 2% desse total são de água doce. Avalia-se, assim, que apenas cerca de 2.000 km³ de água estejam disponíveis para as diversas modalidades de consumo (abastecimento doméstico e industrial, irrigação, dessedentação de animais) (CARVALHO, 2014).

A água é um recurso de grande importância para o desenvolvimento e sobrevivência humana, porém, a problemática referente à sua quantidade e qualidade representa motivo de preocupação mundial. Acreditava-se que a água era um bem infinito, um recurso inesgotável e o seu uso e a conservação não tinham relevância para o desenvolvimento da sociedade. A partir dos anos 2.000, todas as iniciativas para o desenvolvimento urbano e rural, para serem viáveis, precisaram ter como premissa a disponibilidade de água, uma vez que a reciclagem natural da água depende de várias condições ambientais locais (GOLDMAN, 2001).

Atualmente, a questão da água perpassa do nível local para uma questão de recursos comuns globais (GOLDMAN, 2001). Com o aumento da população e o uso irracional, torna-se importante práticas de conservação da água para que seja oferecida à sociedade em quantidade e com toda qualidade.

O ciclo hidrológico é o foco central da hidrologia, e como ciclo não tem início, nem fim, seus processos ocorrem de forma contínua. A água evapora dos oceanos e da superfície terrestre para compor a umidade atmosférica; o vapor de água se transporta e se eleva na atmosfera até se condensar e se precipitar sobre a superfície terrestre e nos oceanos; a água precipitada na terra pode ser: interceptada pela vegetação, convertida em fluxo superficial sobre o solo, infiltrada, escoar subsuperficialmente ou/e descarregar nos rios como escoamento superficial (SANTOS, 2015).

O ciclo hidrológico possui como fenômenos básicos a evaporação e a precipitação: a água precipita das nuvens em forma de chuva, granizo ou neve sendo registrada com medidores em milímetros de água, infiltra-se no solo, escoar para correntes de águas superficiais, segue-se a evaporação e transpiração, voltando para atmosfera (BRAGA et al., 2005). A transpiração é a perda de água das plantas para a atmosfera e a evaporação acontece a partir de fontes de águas superficiais livres. Fatores meteorológicos como os raios solares, a temperatura

ambiente, a umidade e a velocidade do vento, assim como a quantidade de umidade do solo disponível para as plantas, influenciam a evaporação e também influenciam o processo de transpiração. Compreender o ciclo hidrológico, precipitação e a evaporação requer o conhecimento de climatologia, de meteorologia e muito mais. Similarmente, a infiltração está ligada à ciência do solo, ao fluxo de águas subterrâneas, à geologia, ao escoamento superficial com a geomorfologia, ao escoamento concentrado no rio, à mecânica dos fluidos (SANTOS, 20015).

O conhecimento do escoamento superficial e os processos ligados ao início da sua geração em uma bacia hidrográfica, são fundamentais para o planejamento e gestão eficaz dos recursos hídricos. Segundo Santos (2015), os principais tipos de escoamento que podem ocorrer em uma bacia hidrográfica são: escoamento superficial hortoniano, escoamento superficial por saturação subsuperficial, escoamento subsuperficial, escoamento de água subterrânea (ou escoamento de base) e precipitação direta no canal. Dados de precipitação e escoamento são relativamente escassos e as características das chuvas são decisivas para a definição dos diferentes mecanismos de geração de escoamento (FANG et al., 2012).

Assim, intimamente relacionado com os mecanismos de geração de escoamento, está a capacidade de infiltração dos solos. Segundo Arnau-Rosalén et al. (2008), a capacidade de infiltração é o fator mais importante e controlador do escoamento, caracterizada pela alta variabilidade espacial das propriedades do solo (estrutura, textura, teor de matéria orgânica, umidade antecedente, entre outros). Diferenças pronunciadas nas taxas de infiltração influenciam a taxa de transformação de chuva em escoamento, resultando na redistribuição espacial dos recursos hídricos. Áreas que respondem rapidamente às chuvas produzem altas descargas de escoamento, permitindo a continuidade do fluxo ao longo da rede de drenagem (YAIR; RAZ-YASSIF, 2004). O oposto pode ser esperado em áreas caracterizadas por alta absorção e altas taxas de infiltração.

Segundo Carvalho (2017), infiltração de água no solo é o processo pelo qual a água penetra no solo, umedecendo-o, expressa como o processo pelo qual a água atravessa a interface ar-solo. É um processo de grande importância prática, pois afeta diretamente o escoamento superficial, que é um dos componentes do ciclo hidrológico responsável pelos processos de erosão, cheias e inundações. Cessada a infiltração, a camada superior atinge “altos” teores de umidade do solo, enquanto as camadas inferiores apresentam-se ainda com “baixos” teores. A taxa de infiltração e a retenção de água pelo solo são importantes, pois auxiliam na definição de proteção e de conservação do solo e da água, planejamento de sistemas de drenagem e irrigação. As condições tais como: porosidade, umidade, atividade biológica, cobertura vegetal,

rugosidade superficial e declividade do terreno, dentre outras, influem fortemente na infiltração da água no solo (CARVALHO, 2012).

Água, o componente dinâmico do sistema hidrossedimentológico, faz parte dos processos de intemperismo e erosão das rochas e substrato pedológico, transportando e depositando sedimentos através do escoamento superficial e fluxo do rio. Portanto, o ciclo hidrológico é articulado com outros ciclos de matéria e energia e deve ser analisado de acordo com a diversidade de seus componentes dentro do sistema que os integra, apresentando uma dinâmica única devido à sua magnitude espacial / temporal. Dentre as matérias transferidas pela água, incluem-se os sedimentos. Além do fluxo de água, a dinâmica do sedimento vem sendo cada vez mais discutida com o conceito de conectividade (BRACKEN et al., 2013).

A sedimentologia é definida a partir da visão hidrológica como sendo o estudo da erosão, transporte e deposição dos sedimentos relacionados aos processos hidrológicos. O termo hidrossedimentologia faz menção aos processos de transporte de sedimentos em suspensão, caracterizada pela interação entre água e sedimentos, baseada em pilares da hidrologia e da sedimentologia, com elementos próprios (ZANANDREA; KOBIYAMA; MICHEL, 2017).

Os processos hidrológicos influenciam diretamente na desagregação, transporte e deposição de sedimentos que interferem na evolução ou formação das vertentes e canais, que por sua vez condicionam processos hidrológicos, como o escoamento. A produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica depende diretamente da dinâmica hidrossedimentológica da mesma. Assim, a produção de sedimentos ainda está relacionada à probabilidade de que o sedimento erodido alcance um ponto de controle (ZANANDREA; KOBIYAMA; MICHEL, 2017).

Parte dos processos ocorridos na fase terrestre do ciclo hidrológico pode ser entendida por meio da conectividade. Sabe-se que a conectividade efetiva no ciclo hidrológico em uma bacia é fortemente associada à dinâmica de geração de vazão e distribuição da umidade do solo dentro da bacia (JAMES; ROULET, 2007). A conectividade hidrológica é definida por Bracken e Croke (2007) como a passagem da água de uma parte da paisagem para outra, gerando uma resposta no escoamento da bacia hidrográfica, que causa efeitos sobre processos biológicos e transferências de água e sedimentos.

Tratando-se dos aspectos ambientais, sabe-se que os processos de transferência de sedimentos em uma bacia envolvem diversos fenômenos que vão desde a erosão superficial até movimentos de massa, intrinsicamente ligada ao fluxo de água, a dinâmica de sedimento que também é discutida a partir do que caracteriza a conectividade estrutural. Hooke (2003) define

conectividade como uma ligação física do sedimento através da rede de drenagem, ou seja, a transferência de sedimentos de um local para outro e o potencial para uma partícula se mover através do sistema. De acordo com Bracken et al. (2015), a conectividade de sedimentos é definida como a transferência física de sedimentos através da bacia de drenagem por meio do desprendimento e transporte de sedimentos, controlado pela forma como o sedimento se move entre todas as zonas geomorfológicas de uma paisagem.

Em hidrologia e geomorfologia, identifica-se dois grandes tipos de conectividade, classificados, de acordo com Bracken e Croke (2007), como:

- Conectividade hidrológica: transferência de matéria, energia e/ou organismos dentre ou entre elementos do ciclo hidrológico, tendo a água como meio de transporte. Refere-se à passagem de água de uma parte da encosta para outra, o que deve gerar alguma resposta no coeficiente de escoamento da bacia; e
- Conectividade sedimentológica: transferência de sedimentos de um local para outro e o potencial de uma partícula específica de se mover através do sistema. Diz respeito ainda à transferência física de sedimentos e poluentes ligados por meio da bacia hidrográfica e pode variar consideravelmente com o tamanho das partículas, entre outras propriedades.

A quantidade de material erodido que consegue completar o percurso, desde a origem até o ponto de controle, ou exutório, tal como um reservatório ou uma posição do curso d'água, como um posto fluviométrico, é conhecida como produção de sedimentos (CARVALHO, 2008). Em geral, com maior área de drenagem é esperado um aumento na produção específica de sedimentos, o que é possível devido aos adicionais processos de erosão no rio, erosão das margens, e movimento de massa.

Para áreas de drenagem entre pequenas bacias e grandes bacias (> 10 km²), o efeito de sumidouros de sedimentos (deposição) muitas vezes torna-se dominante em relação às fontes de sedimentos, resultando em um declínio gradual na razão de aporte de sedimentos (BOIX-FAYOS et al., 2007). Assim, quanto maior a área, maior a probabilidade de deposição de sedimentos, que pode até resultar em menor rendimento de sedimentos na bacia tomada em comparação com as taxas de erosão medidas localmente, em parcelas de erosão. Em bacias de uma determinada característica, a razão de aporte de sedimento irá geralmente diminuir à medida que aumenta o tamanho da bacia, porque as partículas de sedimentos levam mais tempo para viajarem longas distâncias (GONZÁLEZ-HIDALGO et al., 2013).

Os efeitos de escala são importantes na determinação dos processos hidrológicos e erosivos (BOIX-FAYOS et al., 2006), onde os propulsores para a erosão do solo são, principalmente, a energia cinética da chuva dissipada no solo (erosividade), bem como a energia do fluxo de massa gerado pelo escoamento superficial (SANTOS et al., 2011). Dentro do contexto da dinâmica hidrológica e das taxas de erosão e deposição, existem variáveis que não podem ser deixadas de lado, incluindo a granulometria, o grau de arredondamento e a filiação petrográfica (ou mineralógica) dos clastos. Essas variáveis podem permitir a identificação das áreas-fonte e da distância de transporte dos clastos (LANA; CASTRO, 2008).

A compreensão relativa aos processos hidrológicos é fundamental em estudos ambientais, na gestão dos recursos hídricos e em projetos de obras hidráulicas (ZANETTI et al., 2009). Tais informações são fundamentais no dimensionamento e operação de obras hidráulicas, interferindo decisivamente nos custos de implantação e manutenção de tais sistemas. Os custos envolvidos no seu monitoramento são bastante elevados e, por essa razão, são escassas as informações medidas a campo, em especial, em pequenas bacias (BELLINASSO; PAIVA, 2007). A disponibilidade de séries de dados medidos de vazões, bem como a avaliação de transporte de sedimentos, de pequenas e médias bacias hidrográficas é muito pequena, com exceção de poucos trabalhos de pesquisa e de duração limitada (CABRAL, 2013).

3.2 Erosão e processos erosivos

Segundo Pes e Giacomini (2017), erosão é um processo físico de degradação, causada pelo escoamento superficial da água ou pelo impacto da gota de chuva contra o solo, de transporte das partículas desagregadas e de deposição ou sedimentação destas partículas do solo por agentes como a água e o vento denominadas erosão hídrica e erosão eólica.

A erosão é descrita em três estágios: desagregação, transporte e deposição. A desagregação é definida como a liberação de partículas dos agregados e é provocada, especialmente, pelo impacto das gotas da chuva diretamente sobre a superfície do solo que, uma vez desprendidas, podem permanecer próximas ao agregado ou serem transportadas (CARVALHO et al., 2002). O transporte ou arraste das partículas desagregadas, se dá quando o solo está saturado ou quando a intensidade da chuva é superior à taxa de infiltração de água no solo, ocasionando o início do escoamento superficial. No estágio final do processo, a deposição das partículas ocorre em pontos onde é reduzida a capacidade de transporte de sedimentos, normalmente em locais mais baixos, que podem ser depressões naturais do terreno ou em corpos hídricos como rios, lagos e açudes (SANTOS, 2015).

A erosão do solo é um processo de desprendimento e transporte de materiais do solo pela chuva, escoamento superficial, vento, gelo, mudança de temperatura, gravidade e outros agentes naturais ou antropogênicos que desagregam e removem materiais do solo em um ponto na superfície da Terra e os depositam em outro (VERHEIJEN et al., 2009). De acordo com BRAGA et al. (2005) das várias maneiras pelas quais pode ser classificada a erosão, é comum distinguir-se a erosão geológica ou lenta, que se processa sob a ação dos sistemas naturais, da acelerada, que ocorre por meio da intervenção humana. É tão antigo esse processo quanto à própria Terra, sendo oriundo de fenômenos naturais que agem continuamente na crosta terrestre, de forma lenta e gradual, causando mudanças no relevo e na vegetação (PRUSKI, 2006).

Observa-se que os sedimentos totais disponíveis para o transporte são provenientes da desagregação pelo impacto direto das gotas da chuva e pelas forças de cisalhamentos do fluxo de escoamento. Já as forças capazes de transportar os sedimentos desagregados para jusante são o somatório da energia disponível pela própria chuva e a energia disponível no fluxo de escoamento. Neste contexto, Santos (2015) relata que, se a quantidade de sedimentos disponíveis for maior que a capacidade de transporte total, haverá a deposição dos sedimentos que ultrapassar a capacidade de transporte. Entretanto, se a capacidade de transporte for maior que a quantidade de sedimentos disponíveis, será transportado todo o sedimento disponível, podendo ainda culminar na erosão dos canais (rede de drenagem).

A declividade das vertentes e as características intrínsecas dos solos são fatores importantes na compreensão dos processos erosivos. Mas, é o clima, mais especificamente, a sucessão de eventos pluviais, bem como sua intensidade e duração, que ocasionam os impactos que favorecem a erosão hídrica. Ressalta-se, ainda, o papel da chuva em termos de totais pluviais, como de intensidade, duração e frequência dos episódios pluviais, tendo em vista que esta representa uma participação causal em até 80% na ocorrência do fenômeno da erosão (SANTANA et al., 2007). Dentre as variadas formas de degradação do solo, a erosão é a mais impactante, ocasionando perda de capacidade produtiva, assoreamento de mananciais hídricos e poluição da água (COGO; LEVIEN; SCHWARZ, 2003).

O processo erosivo é natural, entretanto, a ação humana tem a capacidade de acelerar o processo, podendo levar a sérios prejuízos econômicos e ambientais (PIRES; SOUZA, 2006). O processo erosivo, de acordo com sua proporção, degrada o perfil do solo e causa problemas que levam a baixa produtividade agrícola e ao empobrecimento do meio rural com menor cobertura vegetal, com menos matéria orgânica e com maior degradação física,

química e biológica do solo. Porém, estes problemas têm suas causas vinculadas ao uso, manejo e à conservação do solo (DRUGOWICH, 2014).

Em ambientes tropicais, a erosão hídrica assume importância muito maior, onde o processo inicia-se com a precipitação, cujas gotas já têm energia suficiente para quebrar agregados do solo ou iniciar o selamento superficial deste. Caso a intensidade de precipitação exceda a de infiltração, gera-se o principal componente do processo erosivo: o escoamento superficial, causando empobrecimento acelerado do solo (DRUGOWICH, 2014).

Entretanto, mesmo que a chuva possa ser considerada como um dos principais fatores condicionantes de processos erosivos, ela contribui para a formação dos solos numa escala temporal de milhares de anos, nesse sentido sendo considerada uma erosão normal ou geológica. A erosão hídrica do solo pode ocorrer de diferentes formas, sendo as mais comuns a laminar, em sulcos e num estágio mais avançado formando voçorocas (AKSOY; KAVVAS, 2005). A erosão laminar, através da ação das gotas de chuva e da lâmina de escoamento superficial, induz a remoção uniforme de uma camada fina ou lâmina do horizonte superior do solo fértil (DLAMINI et al., 2011). A erosão em sulcos é a separação por lavagem e o transporte de sedimentos por meio de um fluxo concentrado de água em um estreito canal erodível (YAN et al., 2008). Juntos, a erosão em sulcos e a erosão laminar são muitas vezes classificadas como erosão por escoamento superficial, desprendendo e transportando partículas da superfície do solo (MERRITT et al., 2003). A erosão do solo pelo vento e principalmente pela chuva, junto com outros processos de degradação, como a desertificação, o uso excessivo de produtos com resíduos tóxicos aos ambientes é um problema generalizado em todo o mundo (SCHULER e SATTLER, 2010).

Carvalho (2014) expõe que os processos erosivos podem ser controlados quando o manejo do solo é realizado de forma adequada, como por exemplo, estruturas mecânicas reduzem significativamente a perda de solo. Estas medidas promovem a melhoria na qualidade estrutural do solo, redução da velocidade do escoamento superficial, aumento na infiltração e amenizam a exposição do solo às gotas de chuva pela interceptação das folhas e cobertura morta. Diante do exposto, é comprovado que a erosão do solo polui a água e degrada o solo, reduzindo a sua fertilidade, a capacidade de armazenamento de água e matéria orgânica (CERDAN et al., 2010) e pode levar ao abandono da terra pelas populações rurais. Para enfrentar a ameaça ambiental provocada pela perda de solo produtivo, a quantificação das taxas de erosão do solo é o primeiro requisito (GASPAR et al., 2013). Estudos de erosão do solo são importantes para o melhor planejamento e gestão de uso da terra.

3.2.1. Erosividade e erodibilidade

Parte dos estudos sobre erosão privilegia enfoques sobre a erodibilidade dos solos – suscetibilidade que os solos têm em ser erodidos, que é influenciada pelas suas características físicas, principalmente aquelas que afetam sua capacidade de infiltração e permeabilidade, e sua capacidade de resistir ao desprendimento e transporte pela chuva e enxurrada.

O clima, principalmente no que se refere à variabilidade e irregularidade das chuvas, assume um papel decisivo no entendimento da erosividade no tempo e no espaço. A erosividade da chuva, representada pelo fator R da Equação Universal de Perdas de Solo (do inglês *Universal Soil Loss Equation* - USLE) (SILVA et al., 2012), consiste no potencial da chuva em causar erosão e é representada pelo produto da energia cinética da chuva pela sua intensidade máxima em 30 min - EI30 (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Este fator é empregado nos cálculos dos fatores erodibilidade, cobertura vegetal e práticas conservacionistas, onde a determinação dos valores de erosividade permite identificar os meses nos quais o risco de erosão é mais elevado, o que é importante no planejamento de uso da terra. Estudos de erosividade desenvolvidos no Brasil destacam alguns índices de erosividade em $\text{mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ ano¹: para Lavras (MG), na ordem de 6.843 (VAL et al., 1986); para Mococa (SP), 7.747 (CARVALHO et al., 1989); no Estado do Paraná para 32 localidades, uma amplitude de 5.275 a 12.559 (RUFINO et al., 1993); para Goiânia (GO), 8.355 (SILVA et al., 1997).

Já a erodibilidade do solo representa o efeito dos processos que regulam a infiltração da água no solo, a desagregação pelo impacto da gota de chuva e a resistência ao transporte pelo fluxo superficial, os quais são responsáveis pelo comportamento do solo em face aos processos erosivos (LAL, 1988). Baseando-se na relação entre intensidade da chuva e distribuição de gotas, estas serão específicas de cada local. Considera-se que esse índice representa, adequadamente, o efeito erosivo do impacto da gota de chuva, bem como o da enxurrada, ainda segundo o mesmo autor. Representada pelo fator K da USLE, consiste na suscetibilidade do solo à erosão hídrica. É um atributo intrínseco de cada solo e constitui um fator fundamental para a previsão de perdas de solo e planejamento de uso da terra. Entre os atributos do solo que, de forma integrada, afetam a erodibilidade, destacam-se a permeabilidade do solo à água, a capacidade de armazenamento de água, a textura, a coesão, o grau e o tipo de estrutura, C orgânico, os teores de óxidos de Fe e de Al, e o tipo de mineral de argila (SILVA et al., 2009).

De acordo com os bancos de dados elaborados por Denardin (1990) e Silva et al. (2000), no Brasil existem 19 valores de erodibilidade determinados para Latossolos, estando o valor médio na ordem $0,0045 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. No Brasil, um número considerável de solos já tem seu valor de erodibilidade determinado, principalmente com uso do simulador de chuvas. Conforme levantamento feito pelos autores supracitados, a erodibilidade de solos com horizonte B latossólico varia de 0,002 a 0,034 t h $(\text{MJ mm})^{-1}$, ao passo que a dos solos que possuem horizonte B textural fica entre 0,004 e 0,044 t h $(\text{MJ mm})^{-1}$. Apesar de a tendência geral dos solos mais intemperizados apresentar menor erodibilidade, a variação nos valores, principalmente em se tratando de solos de regiões tropicais, é tamanha que se torna demasiado arriscado estimar um valor de erodibilidade, baseando-se, unicamente, na classificação do solo.

Em virtude disso, os solos apresentam um limite tolerável de perdas, acima do qual não manterão seu potencial produtivo sustentável ao longo dos anos. Assim, considera-se que a intensidade de erosão está dentro dos limites toleráveis quando esta não ultrapassa a intensidade de formação e a renovação dos solos.

3.3 Práticas mecânicas de Conservação do Solo e da Água

O aumento no grau de degradação dos recursos naturais tem demandado da ciência e da sociedade providências visando sua recuperação, manejo e conservação. Tais providências podem ser entendidas do ponto de vista da diagnose através de avaliação de suscetibilidade e risco de uso desses recursos, bem como da prognose e predição com vistas a amparar ações de planejamento preventivo e corretivo. As práticas conservacionistas, de acordo com Lepsch (2002), mantêm o solo sem empobrecê-lo, fazendo parte da tecnologia moderna e permitindo controlar a erosão reduzindo-a a proporções insignificantes, quebrando, assim, um aparente conflito ecológico que existe entre o equilíbrio do meio ambiente e a agricultura do homem.

3.3.1. Bacias de Retenção de Água

As tecnologias mecânicas são fundamentadas no aumento da infiltração em pontos localizados, ou seja, na concentração de grandes volumes de água. As bacias são estruturas em forma de semicírculo, de base larga e pouca profundidade, dando tempo à ocorrência da infiltração, conforme Figura 1 (VALENTE, 2011). As funções das bacias de retenção são reter e infiltrar a água que escoada das estradas pelos canais laterais, promovendo a recarga do lençol freático e evitando que o volume e a velocidade causem erosão. De acordo com Griebeler

(2002), a técnica para a implantação destas bacias consiste na escavação do solo das áreas marginais às estradas para permitir a captação e o armazenamento da água escoada e, conseqüentemente, permitir a posterior infiltração.

Figura 1- Bacia de retenção na área de estudo na área de estrada.



Fonte: A autora (2020)

Para projetar bacias de retenção, normalmente apenas um único evento de chuvas intensas é considerado, como na metodologia desenvolvido por Pruski et al. (1997). Assim, a construção de bacias pode contribuir expressivamente para adequação do sistema de drenagem, controle dos processos erosivos e redução do assoreamento de nascentes, rios e lagos, pois o escoamento superficial é armazenado nestas, favorecendo sua infiltração e evaporação.

Essas bacias concebidas para reservar água acumulam também resíduos sólidos, principalmente sedimentos carregados no escoamento. Assim, o monitoramento dos sedimentos e da qualidade da água é fundamental para o entendimento do processo de assoreamento das bacias de retenção e como o mesmo pode contribuir para poluição do corpo hídrico (SOUZA et al., 2013). Além disso, quando possuem tempos de retenção adequados, podem melhorar a qualidade da água pela sedimentação dos sólidos presentes (RODRIGUEZ; TEIXEIRA, 2021).

As bacias de retenção têm sido utilizadas comumente, em zonas rurais, como forma de armazenamento de água para uso agropecuário, e também em projetos de drenagem, para reduzir o volume do escoamento. O uso de bacias de retenção em projetos de drenagem, apresenta a vantagem de ocasionar, devido a sua multifuncionalidade, a redução do volume de escoamento, evitando impactos a jusante, como inundações, degradação de terrenos e habitações, redução da carga de contaminante do escoamento, controle da erosão, melhoria da paisagem, além recarregar os aquíferos (BARROS; RIBEIRO, 2009).

O processo de urbanização e a impermeabilização do solo provocam alterações no balanço hídrico, gerando maior percentagem de escoamento superficial, com o aumento da frequência e da magnitude de inundações. Para mitigar esses impactos, podem ser implantadas bacias de retenção que diminuem os picos de vazão. Por outro lado, são apontadas desvantagens, como os custos de implantação e necessidades de manutenção, além da ocupação de áreas urbanas valorizadas. Menciona-se também que tais bacias podem ser objeto de rejeição pelos moradores, sobretudo quando não possuem boas condições de conservação e envolvem questões negativas de ordem ambiental (TUCCI, 2005). Segundo Lee e Li (2009), as bacias de retenção apresentam uma função de multipropósito, como áreas de lazer, geram impacto positivo no valor da propriedade localizada no seu entorno, podendo ocorrer o inverso nos casos em que o objetivo é somente o controle de cheias, sobretudo associado a efeitos visuais negativos.

3.4 Aspectos sobre o desenvolvimento do uso e ocupação em áreas rurais

O processo de antropização e a mudança de uso e ocupação do solo ocasionam grandes mudanças nos processos hidrológicos e sedimentológicos, provocando assim um desequilíbrio no ciclo hidrológico local e regional. As modificações naturais e artificiais na cobertura vegetal das bacias hidrográficas influenciam o seu comportamento hidrológico. Essas alterações produzem os mais variados impactos sobre o meio ambiente e a disponibilidade dos recursos hídricos. Uma vez que o controle da quantidade e qualidade dos recursos hídricos depende do disciplinamento do uso e ocupação do solo, que deve ocorrer de modo a provocar as mínimas alterações possíveis ao ambiente, assegurando assim a preservação da água.

Considerando-se que os problemas provocados pelo uso e ocupação desordenados do solo são principalmente ambientais e com graves consequências sobre a oferta de recursos hídricos, é plausível propor a hipótese de que municípios com maiores níveis de implementação de mecanismos de gestão ambiental e recursos hídricos são menos vulneráveis aos efeitos do

uso e ocupação desordenados do solo (SANTOS, 2015). Nesse cenário, os usos múltiplos da água a tornam um recurso extremamente vulnerável à forma como se dá a ocupação do território (TUNDISI, 2003). Grandes empreendimentos agrícolas são criticados pelo uso elevado dos recursos hídricos e por provocarem impactos ambientais como desmatamentos e erosão. A Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, ou Lei das Águas, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos no Brasil, busca garantir o uso múltiplo de reservatórios de forma disciplinada.

Observa-se que no meio rural a agricultura, a pecuária e a indústria extrativista exercem uma pressão antrópica que têm levado ao uso exacerbado de agrotóxicos e de recursos hídricos para exploração de lençóis de água subterrânea, assoreamento de rios, salinização e contaminação dos mananciais. Os problemas citados estimulam o surgimento de conflitos pelo uso da água, pois, os latifúndios concentram terra e também as principais fontes de água (ANDRADE; NUNES, 2014). Além de comprometer a biodiversidade, deixa os solos descobertos e expostos à erosão. Ainda segundo os mesmos autores, o uso intensivo do solo, juntamente com a falta de técnicas de conservação e descanso, ocasiona a erosão comprometendo a produtividade.

Assim, a atividade agrícola intensiva, a ocupação indevida do solo nas áreas urbanas e a retirada de material de áreas concentradas podem provocar ainda processos erosivos. Mudanças na cobertura do solo, a exemplo do efeito de queimadas, podem influenciar na geração de escoamento, na disponibilidade e na capacidade de transporte de sedimentos. Wester et al. (2014) explicam que as queimadas podem:

- reduzir a rugosidade da superfície do solo e, portanto, amortizar a capacidade de dissipação da energia cinética do escoamento superficial, o que resulta no aumento da capacidade de transporte de sedimentos ao longo das vertentes e na rede de drenagem;
- diminuir a capacidade de interceptação vegetal da chuva, aumentando assim a desagregação do solo pelo impacto direto da gota da chuva; e
- minimizar a resistência do solo promovida pelas raízes, o que pode levar a maximização da erosão e formação de sulcos que podem evoluir para voçorocas.

As diferenças na distribuição das coberturas vegetais ou de zonas com e sem vegetação podem influenciar significativamente a conectividade, o que eventualmente pode desempenhar um papel importante na evolução da área (OKIN et al., 2009). De acordo com Bracken e Croke (2007) as faixas de vegetação funcionam como barreiras ao transporte de sedimentos, favorecendo a infiltração da água no solo, resultante do aumento da matéria

orgânica e na redução da densidade do solo, que promovem o aumento de sua condutividade hidráulica. A vegetação funciona, ainda, como dissipadora da energia do escoamento superficial o que resulta em maior tempo de oportunidade para os processos de infiltração e deposição de sedimentos. O escoamento superficial e a conectividade de sedimentos ao longo das encostas e na bacia hidrográfica diminuem com o aumento da cobertura vegetal (FRYIRS et al., 2007).

3.4.1. Importância das bacias de retenção para a conservação de estradas e infiltração

Quando o meio natural é alterado para a construção de uma estrada, iniciam-se processos erosivos bem como modificações nos padrões naturais de drenagem. As estradas rurais, até pouco tempo eram um componente pouco lembrado nas questões ambientais, mas atualmente há a preocupação da contribuição das estradas rurais para o aumento da degradação ambiental (SOARES et al., 2012).

A erosão provocada pela água no leito e nas margens das estradas é um dos principais fatores de degradação, sendo responsável por mais da metade do volume das perdas de solo. Segundo Griebeler (2012), a redução dos problemas de erosão nas estradas vicinais pode ser obtida pela adoção de medidas que evitem que a água proveniente do escoamento superficial, tanto aquele gerado na própria estrada como o proveniente das áreas às suas margens acumulem-se na estrada e passe a utilizá-la para o seu escoamento. A água escoada pela estrada deve ser coletada nas suas laterais e encaminhada, de modo controlado, para os escoadouros naturais, artificiais, bacias de retenção ou outro sistema de retenção localizado no terreno marginal (CARVALHO, 2017).

A tecnologia de adequação de estradas rurais de terra, associando um sistema de drenagem de águas pluviais com as bacias de retenção, disciplina essas águas de forma a eliminar seu efeito destrutivo, acumulando-as em locais determinados, facilitando sua infiltração no solo, favorecendo o abastecimento do lençol freático e aumentando a água das nascentes. Como as bacias propiciam maior tempo de oportunidade para infiltração, haverá uma melhor recarga dos lençóis freáticos. Tal situação resulta em um regime de produção de água mais uniforme durante o período de vazante ou estação das secas, sendo este comportamento extremamente desejável. Na implantação de sistemas de drenagem em estradas não pavimentadas não se pode deixar de considerar a estrada como elemento integrante do ambiente rural, tendo em vista a interferência mútua entre estas e as áreas marginais (PRUSKI et al., 2006).

Devido ao papel do escoamento como o principal agente de erosão em estradas, sua drenagem antes da concentração do fluxo e aquisição de energia erosiva é de fundamental importância para prevenção de danos acentuados às estradas (GRIEBELER et al., 2005). Uma vez que o simples ato de remover água das estradas não é suficiente na ausência de destino adequado para o fluxo, que retomaria na transferência do problema para áreas marginais. Portanto, a construção de bacias para retenção de escoamento em estradas não pavimentadas é uma alternativa de ótima importância para o controle dos processos de degradação nessas estradas.

Desta forma, além de promover a retirada da água que escoar nas estradas, deve haver uma destinação racional desta para que não se torne um problema para áreas adjacentes. Diante desse contexto, é de grande importância que, dentre as metas traçadas para a implantação de práticas conservacionistas em estradas não pavimentadas, seja considerada a implantação de estruturas hidráulicas capazes de reter, de forma adequada, o volume do escoamento superficial proveniente das estradas. Neste contexto, a implantação de bacias de retenção destinadas à contenção do escoamento superficial proveniente das estradas pode ser uma alternativa de grande importância (CARVALHO, 2017).

Essa é uma das tecnologias de conservação do solo contempladas no Programa Produtor de Águas criado em 2001 desenvolvido pela Agência Nacional das Águas – ANA, com o objetivo de proteger os recursos hídricos no Brasil. É uma ferramenta de articulação entre a Agência, os usuários e o setor rural, sob a ótica principal de estímulo à adoção de práticas sustentáveis a partir do pagamento por serviços ambientais apoiando projetos que visam a redução da erosão e do assoreamento de mananciais no meio rural melhorando a qualidade e a quantidade de água disponível em bacias hidrográficas, inclusive daquelas que chegam às cidades para seu abastecimento (MARRA et al., 2012).

O Programa ocorre mediante orientação ou apoio a projetos, nas diversas regiões do Brasil, contam com apoio de diversos parceiros, como prefeituras, comitês de bacias hidrográficas, universidades, organizações não-governamentais (ONGs), empresas privadas e instituições públicas (MARRA et al., 2012). A proposta piloto teve como experiência as cidades de Extrema, Joanópolis e Nazaré Paulista, onde Extrema é até hoje um dos maiores exemplos dos benefícios para aumento de fluxo de água nos mananciais.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O município de Formiga está localizado na região Centro-Oeste de Estado de Minas Gerais distante da capital mineira Belo Horizonte, aproximadamente 200 km. O município possui cerca de 67.822 habitantes, distribuídos em uma área de 1.502 km² (IBGE, 2020).

A sub-bacia do Rio Formiga encontra-se em área de ecótono entre Cerrado e Mata Atlântica, com formações predominantes de floresta estacional semidecidual. O solo predominante é o Latossolo Vermelho Amarelo, sendo também frequentes os Cambissolos e Argissolos. A precipitação pluviométrica anual baseia-se na ocorrência de 80% das chuvas nos meses de dezembro a março, e o restante se distribuindo principalmente nos meses de outubro e novembro (FONSECA, 2008). O índice pluviométrico médio anual, no período da coleta dos dados de nível de água e aporte de sedimentos nas bacias de retenção, pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1- Índice Pluviométrico medido na Estação Meteorológica Automática de Formiga/MG – A524, entre os anos de 2019 e 2020.

| Mês | Precipitação Total Média/Mês (AUT) (mm) |
|------------------|----------------------------------------------------|
| Novembro (2019) | 5,71 |
| Dezembro (2019) | 3,86 |
| Janeiro (2020) | 8,27 |
| Fevereiro (2020) | 13,53 |
| Março (2020) | 2,48 |
| Abril (2020) | 1,77 |
| Maio (2020) | 1,21 |
| Junho (2020) | 0,09 |
| Julho (2020) | 0,64 |
| Agosto (2020) | 0,41 |
| Setembro (2020) | 0,45 |
| Outubro (2020) | 2,84 |

Fonte: INMET, 2020.

É uma região onde a forma típica de relevo é representada por morros de vertentes muito íngremes e topo aplainado ou pontiagudo, geralmente de rochas maciça (gnaisse), resultantes da exumação e dissecação de estruturas dobradas do pré-cambriano (cristas apalcheanas), sendo a zona de maiores altitudes e relevo mais acidentado. Estes morros se alinham em cristas, que seguem as antigas direções de dobramentos (FONSECA, 2008).

As bacias de retenção estudadas foram selecionadas em função da acessibilidade à propriedade, na qual o produtor escolhido firmou parceria com o Programa Vida Nova Rio Formiga. Este programa se caracteriza por ter uma proposta de atuação por pelo menos 10 anos com projetos e ações na sub-bacia do Rio Formiga de forma a recuperar sua capacidade produtora de água em quantidade e qualidade suficientes para o abastecimento humano e para as atividades rurais. O programa baseia-se no diagnóstico da bacia, na identificação e mapeamento das nascentes e cursos hídricos e no manejo sustentável do solo de forma a conhecer a realidade da bacia no ponto de vista ambiental e socioeconômico identificando os problemas e necessidades.

A bacia hidrográfica do Rio Formiga está localizada a montante da barragem de captação de água bruta do Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE Formiga/MG, autarquia responsável pela captação, tratamento e distribuição de água para população formiguense.

A área experimental localiza-se em área de Latossolo Vermelho Amarelo e para o desenvolvimento dos ensaios, foram selecionadas nove bacias de retenção, dentre elas, cinco localizadas em marginalmente à estrada rural que liga a Comunidade Morro das Pedras com o Município de Formiga e as outras quatro localizadas em área de pastagem. As bacias na estrada têm a finalidade de receber a drenagem desta por meio de canais. As bacias da área de pastagem não recebem água de dreno superficial algum, e tem a finalidade de acumular água para infiltração e presume que para a dessedentação de animais também. Dessa maneira, pôde-se definir dois grandes grupos de bacias de retenção avaliadas: o primeiro, delimitado pela área de estrada (bacias de numeração ímpar) e um segundo, pela área de pastagem (bacias com numeração par), conforme Figura 2. As bacias foram construídas em 2016 no projeto piloto do “Santuário das Águas”, executado na microbacia do Córrego Quebradeira, localizado na comunidade rural Padre Trindade.

Figura 2- Imagem aérea da distribuição geográfica das bacias de contenção na área de estudo.



Fonte: Programa Vida Nova Rio Formiga – Projeto Piloto (2016)

A microbacia do córrego Quebradeira possui uma área total de 2,76 km² e a maior parte do uso e ocupação do solo são relativas a áreas antropizadas com atividades agrícolas e pastoris. As demais são compostas por vegetação nativa e de silvicultura. A propriedade em estudo é composta por área de pastagem, plantação de eucalipto e vegetação nativa e sua atividade principal é a pecuária. A Figura 3 mostra a distribuição geográfica das bacias de retenção além do uso e ocupação do solo na área em estudo.

Figura 3- Imagem aérea da distribuição geográfica das bacias de retenção na área de estudo.



Fonte: Google Earth (2020).

As bacias de retenção em estudo foram construídas no formato semicircular com as dimensões de 10 metros de diâmetro e 1,4 metros de profundidade respeitando as condições físicas do terreno. Para dimensionar estas bacias de retenção foram considerados a classe de declividade, o tipo de solo e a chuva máxima em mm/h, no tempo de 24 horas, para a região de Formiga/MG (com base no histórico de 10 anos). As coordenadas geográficas das bacias de retenção podem ser vistas na Tabela 2.

Tabela 2- Coordenadas geográficas das bacias de retenção objeto de estudo com coordenadas centrais em UTM, *Datum* Sirgas, 2000 – Zona 23K.

| Bacia de retenção | E | N | Elevação (m) |
|--------------------------|----------|----------|---------------------|
| 01 | 461814 | 7740120 | 977 |
| 02 | 461735 | 7740074 | 978 |
| 03 | 461827 | 7740192 | 977 |
| 04 | 461721 | 7740098 | 974 |
| 05 | 461849 | 7740270 | 966 |
| 06 | 461668 | 7740179 | 965 |
| 07 | 461866 | 7740302 | 964 |
| 08 | 461596 | 7740263 | 955 |
| 09 | 461910 | 7740355 | 956 |

Fonte: A autora, 2021

4.2 Sistema de Monitoramento da Infiltração de Água em Bacias de Retenção e sua instalação

A infiltração na área contribuinte de cada bacia de retenção foi mensurada valendo-se do uso de um sistema de monitoramento da infiltração de água em terraços e bacias de acumulação, conforme apresentado em Freitas (2013). O equipamento tem por objetivo determinar o nível máximo atingido pela água armazenada nestas obras de contenção do escoamento superficial gerado pela chuva.

O equipamento foi construído por uma haste guia, que é um tubo de PVC, com função de direcionar uma boia no sentido vertical que acompanha o nível da água. Essa boia é responsável pela elevação de um anel de nível que tem a função de permitir o registro do nível máximo que a água atinge.

Durante a ocorrência de chuvas que não causem escoamento superficial, a boia permanece na sua posição inicial, mas quando houver enxurrada o material será conduzido para a bacia de retenção e a boia acompanha o nível da água que estará subindo. Após a enxurrada, a boia desce na haste guia acompanhando o nível da água que infiltra, e o anel de nível permanece no ponto mais alto que a boia atingiu. Anotou-se, então, o valor do nível indicado pelo anel, tendo como base o valor imediatamente acima deste.

Quando, no momento da leitura, ainda era verificada a presença de água na bacia de retenção, a leitura foi realizada normalmente. O nível do anel marcador é rebaixado até o nível de água, sendo procedida a verificação do nível em que foi colocado o anel marcador. No caso de ocorrência de assoreamento no fundo da bacia de acumulação, o nível de sedimentos foi registrado pelo medidor de nível, o que possibilitou o cálculo do volume de sedimentos carregados.

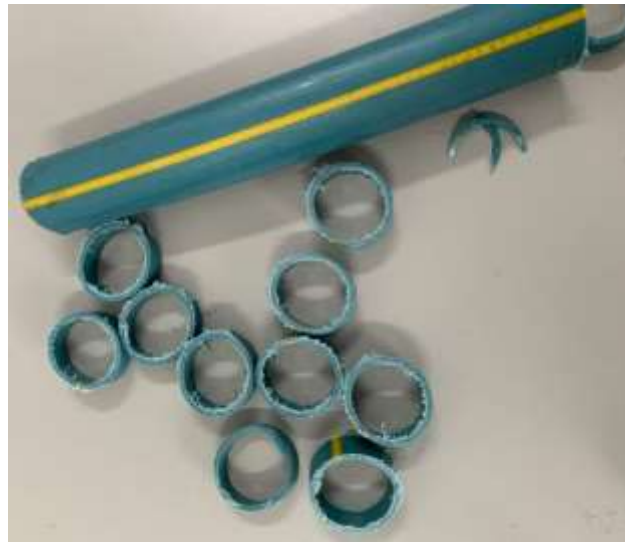
Para a montagem de todo o sistema, foi aderida fita métrica adesiva graduada em centímetros (elaborada em gráfica) de 1,5 m nos tubos de PVC rígido, sobrando assim 0,5 m de tubo liso acima da fita métrica. Para montagem das boias foram utilizados caps de PVC, isopor, cola de silicone e a serra copo. Foi marcado na parte superior do cap o diâmetro do tubo e, o local, cortado com a serra copo de modo que a boia pudesse movimentar-se livremente nessa haste guia. Logo após, o isopor foi cortado de forma que encaixasse no cap, preenchendo toda a parte inferior (Figura 4). Por fim, foram obtidos os 9 anéis de nível por meio do corte de seções transversais de tubos de polietileno de, em média 0,01 m de largura (Figura 5).

Figura 4 – Boias do sistema de monitoramento de infiltração das bacias de retenção de água e sedimentos.



Fonte: A autora (2019)

Figura 5 – Anéis de nível obtidos a partir de seções transversais de tubos de polietileno.

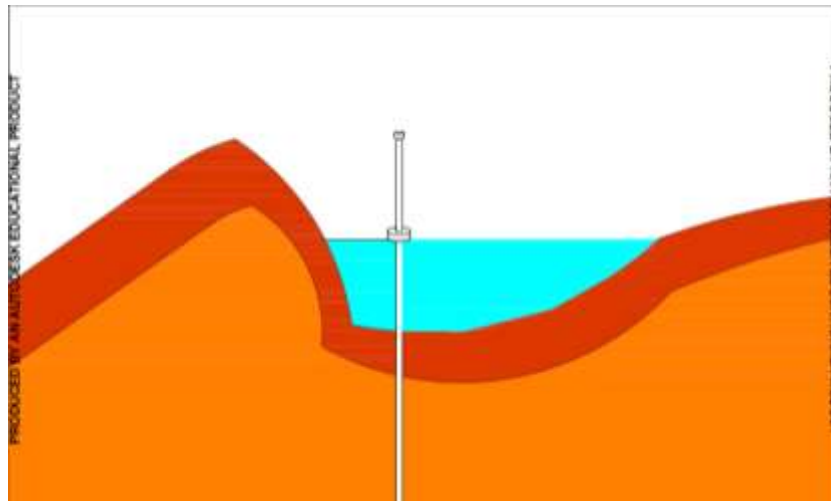


Fonte: A autora (2019).

As hastes guias foram enterrados no solo, na parte inferior na área de cada bacia de retenção, a, pelo menos, 0,5 m de profundidade, com auxílio de uma cavadeira e seu prumo conferido com um nível de mão, de forma a posicionar e manter esta haste guia apumada. Após a instalação dos tubos, colocou-se a boia, observando o apoio da base no solo e, em seguida, o anel marcador (Figura 6). A instalação do sistema ocorreu do dia 24 de outubro de 2019 até o dia 28 de outubro de 2019, data em que se teve o início das leituras, que ocorreram semanalmente, a partir do dia 31 de outubro de 2019.

As leituras ocorreram no período de um ano (de outubro de 2019 a novembro de 2020), tendo em vista a necessidade da ocorrência do período de seca e do período chuvoso, sendo também adquiridos os dados pluviométricos registrados nesse período pela Estação Meteorológica Automática de Formiga/MG – A524.

Figura 6– Croqui do sistema plenamente montado.



Fonte: A autora (2019).

4.3 Ensaio de Resistência a Penetração nas Bacias de Retenção

Para medir a resistência a penetração do solo nas bacias de retenção avaliadas foi utilizado um Penetrômetro de Impacto tipo Stolf, cuja penetração ocorre por percussão e a determinação da penetração é feita por meio de escala graduada.

Os ensaios foram realizados no dia 23/10/2021, com três repetições na área interior de cada bacia de retenção de água e sedimentos, uma repetição área externa adjacente (AE) às bacias representada e três repetições em uma área próxima de vegetação nativa preservada (AP).

O equipamento depois de montado foi golpeado a uma profundidade atingida pelo cone, os golpes foram realizados até uma profundidade em que foi possível. Para o cálculo da resistência à penetração foi utilizada a Equação 1 que apresenta uma relação entre o número de impactos e a resistência do solo à penetração. Para esta equação considerou-se o valor da aceleração da gravidade 10 m/s^2 .

$$R = 0,1 \times \left[5,6 + 6,89 \times \left(10 \times \frac{NI}{P} \right) \right] \quad (1)$$

R = resistência de solo à penetração (MPa);

NI = número de impactos; e

P = penetração (cm).

4.4 Caracterização física e hidráulica do solo

4.4.1 Ensaio de Permeabilidade nas Bacias de Retenção

Para determinar a condutividade hidráulica do solo, onde a carga de água no solo varia com o tempo, utilizou-se o Permeômetro de Guelph que é composto por um permeômetro, tripé de campo, broca de poço, ferramentas de preparação e limpeza do poço, recipiente e bomba manual de teste de vácuo.

Os ensaios foram realizados em campo no dia 28/08/2021 dentro de cada bacia de retenção, local próximo as áreas de coleta das amostras indeformadas. Já na área preservada (AP) o ensaio foi realizado no dia 02/10/2021 foi realizado o ensaio com o permeômetro na área preservada próxima as bacias de retenção utilizando o procedimento para uma lâmina d'água. A abertura de cada furo de sondagem foi feita com o auxílio de um trado manual com a profundidade aproximada de 0,15 m. Logo após os procedimentos iniciais de montagem do equipamento ocorreu a instalação dele no furo e em seguida cada ensaio foi iniciado, iniciando, concomitantemente, a contagem do tempo de ensaio com o auxílio de um cronômetro.

Foram realizadas várias leituras em intervalos de tempo estimados de aproximadamente 1 minuto, monitorando a taxa de queda de água no reservatório até haver intervalos de tempo consecutivos por meio do nível de água no reservatório ou da estagnação da água no mesmo. Esta taxa é chamada de “Taxa de queda em estado estacionário” de água no reservatório em H1. Neste estágio, o solo está saturado com água e um bulbo de saturação estabelecido.

Para a determinação da condutividade hidráulica utilizou-se como procedimentos de ensaio o método com aplicação de apenas uma altura de carga que consiste em aplicar uma altura de água H constante no furo de sondagem quando o regime permanente é atingido, onde a vazão Q e os parâmetros Kfs (condutividade hidráulica saturada medida *in situ*), ϕG_m (potencial matricial de fluxo) e α (relação entre a condutividade hidráulica saturada de campo, Kfs, e o potencial matricial de fluxo, ϕG_m , ambos obtidos *in situ*, por meio do permeômetro) são determinados por meio da equação do método de um estágio (Equação 2).

$$K_{fs} = \frac{CQ}{(2\pi H^2 + \pi a^2 C + 2\pi H/\alpha)} \quad (2)$$

em que:

K_{fs} = condutividade hidráulica do solo saturado medida *in situ* (mm/h);

Q = vazão da carga constante;

H = altura de água constante no furo de sondagem (cm);

α = parâmetro relacionado ao tamanho dos poros

a = raio do furo de sondagem (cm); e

C = parâmetro denominado “fator de forma”, que depende da relação H/a e do tipo de solo.

4.4.2 Análise textural

Para classificação granulométrica textural do solo foi coletada no dia 02/10/2021 uma amostra de solo composta superficial na parte interna de cada bacia de retenção a fim de caracterizar a granulometria dos sedimentos carreados. Também foi realizada uma amostragem superficial em dois pontos na área externa – AE sob coordenadas geográficas 461750,93 E 7740068,68 S e 461837,89 E 7740185,49 S. Após a coleta, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análise de Solos do IFMG Campus Bambuí e seus resultados podem ser vistos na Tabela 3.

Tabela 3- Análise granulométrica textural do solo, superficial, nas bacias de retenção de água e sedimentos em estudo.

| Local | Areia (%) | Argila (%) | Silte (%) | Classificação |
|-------|-----------|------------|-----------|---------------|
| B1 | 66,00 | 26,40 | 7,60 | Média |
| B2 | 47,00 | 50,10 | 2,90 | Argilosa |
| B3 | 43,90 | 41,90 | 14,20 | Argilosa |
| B4 | 55,40 | 41,10 | 3,50 | Argilosa |
| B5 | 58,40 | 35,10 | 6,50 | Argilosa |
| B6 | 71,40 | 26,90 | 1,70 | Média |
| B7 | 56,30 | 35,50 | 8,20 | Média |
| B8 | 55,60 | 41,40 | 3,00 | Argilosa |
| B9 | 54,10 | 40,30 | 5,60 | Argilosa |
| AE1 | 48,00 | 39,90 | 12,10 | Argilosa |
| AE2 | 47,30 | 30,50 | 22,20 | Média |

Em que: B – bacia de retenção de água e sedimentos; AE – área externa adjacente às bacias de retenção de água e sedimentos; Fonte: A autora, 2021. Classificação: Lemos e Santos, 1984.

4.4.3 Umidade gravimétrica do solo

Na área do estudo, foram coletadas amostras indeformadas, nas profundidades de 0 – 0,10 m, 0,10 – 0,20 m e 0,20 – 0,30 m, uma por profundidade, por percussão, utilizando anéis volumétricos de dimensões desconhecidas com a ponta biselada, com três repetições na área interior e três repetição na área exterior das bacias de retenção e três repetições em uma área próxima de vegetação nativa preservada (AP).

Assim que coletadas, as amostras indeformadas foram revestidas com filme de policloreto de vinil (PVC) e fita adesiva larga, de forma a impermeabilizar, mantendo a umidade do solo até que as análises fossem realizadas.

A fim de avaliar a umidade do solo destas estruturas os ensaios foram realizados em laboratório. Para determinação da umidade gravimétrica as amostras foram encaminhadas para a estufa com a temperatura de 105 °C para obtenção da massa até obter peso constante e então foram resfriadas em dessecador e depois pesadas, determinando-se o peso da amostra seca que também foram pesadas, assim determinou-se o peso da umidade da amostra através da diferença entre o peso da amostra úmida e o peso da amostra seca (EMBRAPA, 2017). O cálculo utilizado para determinação da umidade gravimétrica está apresentado na Equação 3.

$$U = \frac{M_a}{M_s} \quad (3)$$

onde

U é a umidade gravimétrica, em g/g;

M_a é a massa de água, em g; e

M_s é a massa de solo seco em estufa, em g.

Após as análises obtiveram-se os resultados que são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Umidade gravimétrica do solo em diferentes profundidades de áreas internas e próximas às bacias de retenção de água e sedimentos avaliadas, além de área preservada adjacente.

| Local | Profundidade (m) | U (g/g) |
|--------------|-------------------------|----------------|
| B1 | 0 – 0,10 | 0,243 |
| | 0,10 – 0,20 | 0,262 |
| | 0,20 – 0,30 | 0,236 |
| B1AE | 0 – 0,10 | 0,167 |
| | 0,10 – 0,20 | 0,153 |
| | 0,20 – 0,30 | 0,170 |
| B2 | 0 – 0,10 | 0,263 |
| | 0,10 – 0,20 | 0,398 |
| | 0,20 – 0,30 | 0,223 |
| B2AE | 0 – 0,10 | 0,161 |
| | 0,10 – 0,20 | 0,163 |
| | 0,20 – 0,30 | 0,170 |
| B3 | 0 – 0,10 | 0,199 |
| | 0,10 – 0,20 | 0,210 |
| | 0,20 – 0,30 | 0,243 |
| B3AE | 0 – 0,10 | 0,147 |
| | 0,10 – 0,20 | 0,124 |
| | 0,20 – 0,30 | 0,123 |
| B4 | 0 – 0,10 | 0,187 |
| | 0,10 – 0,20 | 0,227 |
| | 0,20 – 0,30 | 0,218 |
| B4AE | 0 – 0,10 | 0,198 |
| | 0,10 – 0,20 | 0,168 |
| | 0,20 – 0,30 | 0,194 |
| B5 | 0 – 0,10 | 0,275 |
| | 0,10 – 0,20 | 0,208 |
| | 0,20 – 0,30 | 0,224 |
| B5AE | 0 – 0,10 | 0,170 |
| | 0,10 – 0,20 | 0,174 |
| | 0,20 – 0,30 | 0,179 |
| B6 | 0 – 0,10 | 0,164 |
| | 0,10 – 0,20 | 0,171 |
| | 0,20 – 0,30 | 0,177 |
| B6AE | 0 – 0,10 | 0,162 |
| | 0,10 – 0,20 | 0,148 |
| | 0,20 – 0,30 | 0,182 |
| B7 | 0 – 0,10 | 0,251 |
| | 0,10 – 0,20 | 0,244 |
| | 0,20 – 0,30 | 0,261 |
| B7AE | 0 – 0,10 | 0,154 |
| | 0,10 – 0,20 | 0,183 |
| | 0,20 – 0,30 | 0,176 |
| B8 | 0 – 0,10 | 0,178 |
| | 0,10 – 0,20 | 0,194 |

| | | |
|------|-------------|-------|
| | 0,20 – 0,30 | 0,204 |
| B8AE | 0 – 0,10 | 0,162 |
| | 0,10 – 0,20 | 0,168 |
| | 0,20 – 0,30 | 0,167 |
| B9 | 0 – 0,10 | 0,195 |
| | 0,10 – 0,20 | 0,152 |
| | 0,20 – 0,30 | 0,208 |
| B9AE | 0 – 0,10 | 0,151 |
| | 0,10 – 0,20 | 0,173 |
| | 0,20 – 0,30 | 0,392 |
| AP | 0 – 0,10 | 0,202 |
| | 0,10 – 0,20 | 0,498 |
| | 0,20 – 0,30 | 0,220 |

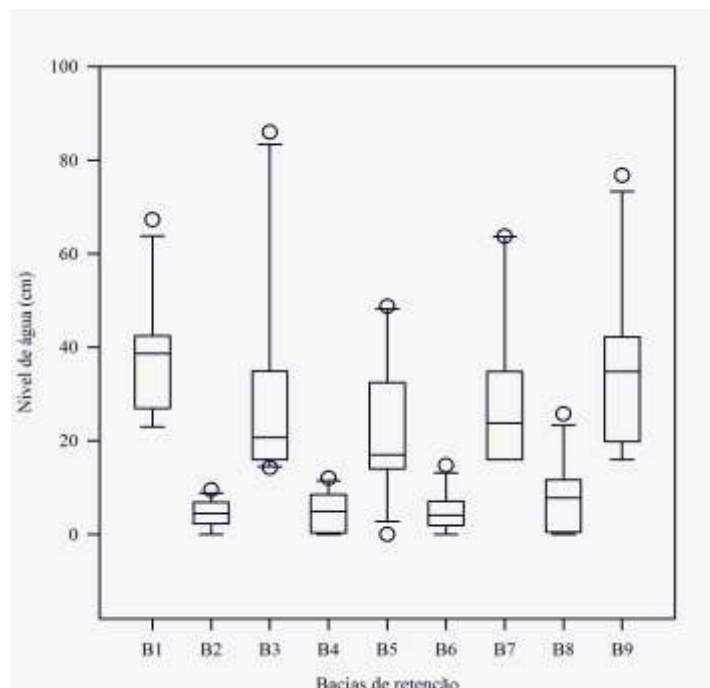
Em que: B – bacia de retenção de água e sedimentos; AE – área externa adjacente às bacias de retenção de água e sedimentos; AP – área preservada; U – unidade gravimétrica do solo. Fonte: A autora, 2021.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Sistema de Monitoramento da Infiltração de Água em Bacias de Retenção

Para avaliar o nível de água nas bacias de retenção de água e sedimentos estudadas foi utilizado o gráfico *boxplot* conforme Figura 7.

Figura 7 – *Box-plots* dos valores observados do nível de água em cada uma das bacias de retenção de água e sedimentos monitoradas.



Fonte: A autora (2021)

Pela Figura 7 observa-se que as bacias em área de pastagem (numeração par) apresentaram comportamento distinto daquelas da área de estrada (numeração ímpar). Nas bacias de área de pastagem o nível atingido foi em média menor que nas bacias da área de estrada. Ainda, a variação no nível nas bacias da estrada foi maior que nas áreas de pastagem, isso provavelmente porque as bacias da área de estrada eram alimentadas pela enxurrada canalizada pela drenagem da própria estrada, enquanto as bacias da área de pastagem não receberam enxurrada canalizada.

As maiores variações do nível de água são apresentadas pelas bacias B9 e B3 seguidas pelas bacias B7 e B5. As bacias B1 e B9 apresentaram a maior mediana. A bacia B2 apresenta a menor variação durante o período analisado dos dados do nível de água significando assim que não houve muito acúmulo de água, motivo pelo qual pouca água chegou nesta bacia.

Na bacia B1 indica que 50% dos dados possuem valores entre 26,938 e 42,438 cm e o valor máximo foi de 65,688 cm. Além disso, existem valores superiores discrepantes indicando que o acúmulo de água na bacia se deu por algum evento extremo de precipitação durante o período da coleta dos dados, pois percebe-se que um solo de textura média, quando apresentam equilíbrio entre os teores de areia, silte e argila, normalmente apresentam boa drenagem, boa capacidade de retenção de água e nutrientes e índice médio de erodibilidade (EMBRAPA, 2018).

Todavia, em que pese a boa drenagem do solo, por se tratar de uma bacia na área de estrada, essa foi alimentada pelo escoamento superficial canalizado, proveniente do leito da estrada.

Já na bacia B3 observou-se a maior discrepância de acúmulo de água na bacia comparada com as outras bacias, ainda assim, não atingiu o nível máximo, confirmando que a bacia exerceu satisfatoriamente sua função. O intervalo interquartil foi de 28,312 cm e a mediana de 20,750 cm nos indica que os valores predominaram abaixo da média, ou seja, a bacia, na maioria dos eventos de chuva, não correu risco de arrombamento, para as condições analisadas. Com maior acúmulo de água e um solo argiloso de teor de silte significativo (tabela 3), indica baixa capacidade de infiltração nessa bacia além de se ter obtido uma condutividade hidráulica lenta (tabela 2) como relatado por Soto e Chang (2009) onde, devido a sua textura, o solo argiloso possui uma condutividade hidráulica relativamente menor fazendo com que a taxa de infiltração seja também reduzida. Vale destacar nesta questão que também deve ser levado em consideração a densidade, a qual reduz a penetração de água no solo conforme será discutido adiante.

Avaliando a bacia B4 a extremidade inferior se encontra nivelada com o primeiro quartil e mostra uma mediana de 4,875 cm e um intervalo interquartil de 8,184 cm encontrando-se uma baixa variação do nível de água nessa bacia, verificando assim que a água que chegou até essa bacia estava infiltrando, conforme característica hidráulica do solo da bacia.

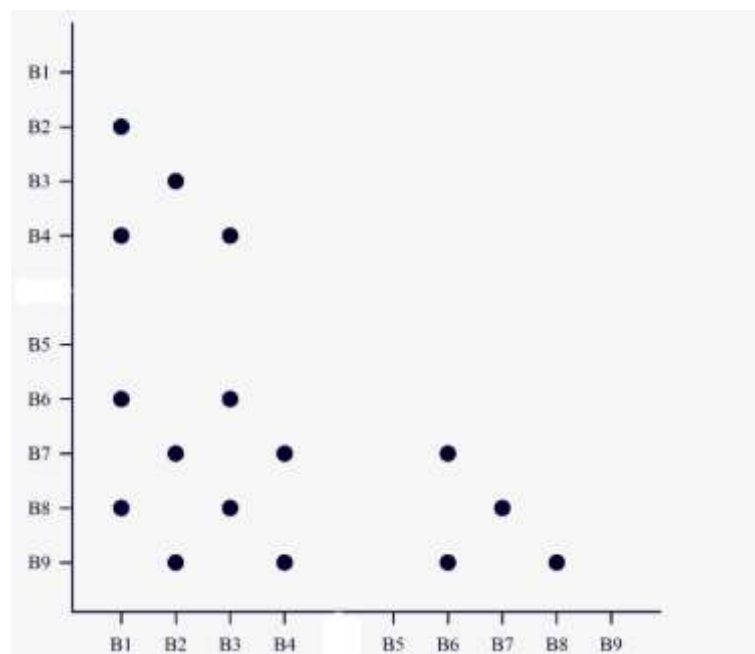
A bacia B5 apresenta 50% dos valores do nível de água na bacia abaixo de 17,0 cm e discrepância nos dados tanto no limite inferior e quanto no limite superior com 60,2 cm. Já a bacia B6 apresentou o menor valor de mediana 4,085 cm.

Como apresentado anteriormente, foram 9 bacias de retenção selecionadas, dentre elas, 5 localizadas em estrada rural e as outras 4 bacias localizadas pastagem.

Essas bacias concebidas para reservar água acumulam também sedimentos carreados no escoamento. Assim, o monitoramento dos sedimentos e da qualidade da água é fundamental para o entendimento do processo de assoreamento das bacias de retenção e como o mesmo pode contribuir para poluição do corpo hídrico (SOUZA et al., 2013).

Durante um evento de precipitação parte da água pode infiltrar e movimentar-se verticalmente no perfil e parte pode escorrer pela superfície do solo, isto se o terreno apresentar grau de declividade (LIBARDI, 2013). Segundo Carvalho (2012), a taxa de infiltração e a retenção de água pelo solo são importantes, pois auxiliam na definição de políticas de proteção e de conservação do solo e da água, planejamento de sistemas de drenagem. As condições tais como: porosidade, umidade, atividade biológica, cobertura vegetal, rugosidade superficial e declividade do terreno, dentre outras, influem fortemente na infiltração da água no solo. A comparação múltipla entre as amostras de nível de água verificadas em cada uma das bacias de retenção avaliadas, pode ser vista na Figura 8.

Figura 8 – Comparação múltipla entre amostras de nível de água em cada uma das bacias de retenção de água e sedimentos estudadas.



ANOVA em raqueamento realizada por meio do teste de Kruskal-Wallis a 5% de probabilidade estatística. Símbolos indicam diferenças significativas entre tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: a Autora (2021).

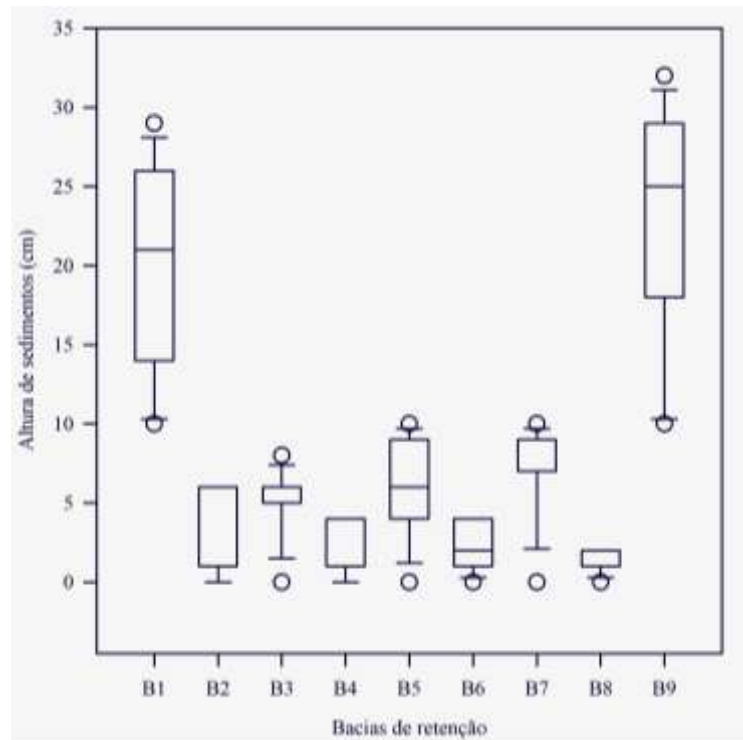
Em relação à comparação entre amostras de nível de água as bacias na área de pastagem com a bacia B1 são significativamente diferentes a 5% de probabilidade. Já as bacias área de estrada, em relação à B1, são estatisticamente iguais.

Portanto, as bacias B1, B3, B5, B7 e B9, localizadas ao lado direito da estrada rural, receberam maior volume de água e, também, foi possível verificar uma maior variabilidade no nível de água do que as bacias B2, B4, B6 e B8 localizadas em área de pastagem, em que se verificou menor variabilidade no nível de água.

Ao analisar o comportamento do nível de água nas bacias que foram estatisticamente iguais, em geral, estas receberam um maior volume de água comparadas com as demais. Segundo Mendonça et al., (2009) com o escoamento superficial afluindo às bacias, a estrutura superficial do solo fica mais susceptível ao transporte de sedimentos, além de provocar compactação na subsuperfície, dificultando o movimento da água no perfil.

Para avaliar o aporte de sedimentos nas bacias de retenção de água e sedimentos estudadas foi utilizado o gráfico *boxplot* conforme Figura 9.

Figura 9 – *Box-plots* dos valores observados do nível de sedimentos em cada uma das bacias de retenção de água e sedimentos monitoradas.



Fonte: A autora (2021)

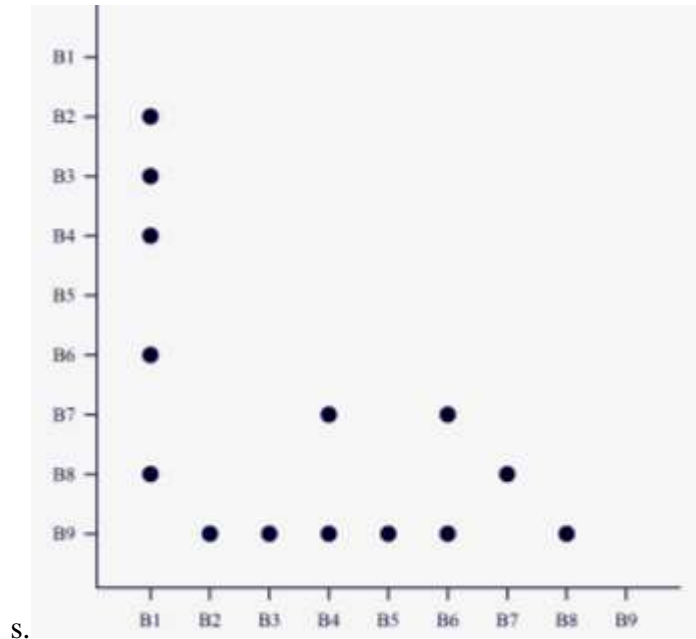
A bacia B1 recebeu um maior aporte de sedimentos que a bacia B2. Como a lâmina máxima retida em B1 também foi maior (Figura 7), isso mostra que obteve mais escoamento superficial sendo levado para a bacia B1 e obviamente mais sedimentos são carreados. Esse fato apresenta que o escoamento superficial está causando erosão, pois houve acúmulo de sedimentos, principalmente na área de estrada devido a retenção dessa água pelas bacias.

Os maiores volumes, tanto de água quanto sedimentos observados nas bacias que margeiam a estrada refletem o volume de enxurrada que são captados por elas. Segundo Marcatto e Siveira (2016), a cobertura superficial dos solos e a manutenção da vegetação às margens dos cursos d'água são fatores fundamentais no controle do escoamento superficial e no transporte de sedimentos, influenciando diretamente na qualidade e disponibilidade de água, como pode ser percebido na diferença dos volumes das bacias B2, B4, B6 e B8 (área de pastagem) e das bacias B1, B3, B5, B7 e B9 (área de estrada).

A associação entre a fragilidade pedogenética do solo e o intenso revolvimento, torna o solo altamente suscetível à erosão hídrica, pois a rápida saturação do perfil favorece o escoamento superficial da água que arrasta partículas de solo (DALBIANCO et al., 2009), o que pode explicar o elevado volume de sedimentos provenientes da estrada. Os valores

observados dos sedimentos e no nível de água foram influenciados por cada uma das bacias, detectando assim diferenças significativas pelo teste F, como mostra a figura 10.

Figura 10 – Comparação múltipla entre amostras de sedimentos em cada uma das bacias de retenção de água e sedimentos estudada.



ANOVA em raqueamento realizada por meio do teste de Kruskal-Wallis a 5% de probabilidade estatística. Símbolos indicam diferenças significativas entre tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: a Autora (2021).

Com relação à B1, não há nenhuma bacia a montante (é a primeira da série na área de estrada). A bacia B9 é a última delas então espera-se maior quantidade de sedimentos carregados da estrada. Nas bacias B2 e B3 o aporte de sedimentos foi maior que na bacia B4, nas bacias B5, B7 e B9 também obtiveram um aporte de sedimentos maiores que nas bacias B6 e B8 bacias estas que obtiveram o menor aporte de sedimentos que as demais.

Considerando o comportamento físico e hidráulico do solo nas bacias área de estrada foram similares em relação a elevada umidade do solo, diante o maior acúmulo do nível de água e também de sedimentos, chegando assim a uma capacidade máxima de infiltração. Já nas bacias área de pastagem houve o menor aporte de sedimentos, mas houve uma maior movimentação de água no solo dessas bacias podendo inferir uma maior capacidade de infiltração.

De acordo com Silva et al. (2012), para estudos de movimento da água no solo tornam-se imprescindíveis o conhecimento de suas propriedades físicas e hidráulicas e suas correlações. Ambas as propriedades têm importância fundamental no armazenamento e transporte de água, tal como, também, de nutrientes e no controle da infiltração, sendo influenciadas pelas condições de superfície do solo.

Além do mais, apesar de serem reconhecidas as contribuições qualitativas que as práticas conservacionistas trazem para o meio ambiente, não existe ainda muito conhecimento quantitativo destas contribuições, sendo necessário um monitoramento, vem de encontro com a proposta de adotar essa metodologia para monitorar as bacias das estradas, para se verificar estes valores de contribuição e a necessidade de manutenção das estruturas construídas com o decorrer do tempo (MIRANDA et al., 2009).

Neste contexto, o conhecimento da capacidade de infiltração e da condutividade hidráulica dos solos é fundamental na solução de problemas relativos à conservação e no manejo de água e solo e, no controle do deflúvio superficial. Conhecer as qualidades físicas do solo favoráveis à infiltração a exemplo da densidade aparente, correlacionado com a classe de textura e curva de retenção de água, e a cobertura vegetal, é fundamental para inferir sobre o processo de recarga de água no solo (GOMES et al., 2012).

De acordo com Bracken e Croke (2007), as faixas de vegetação funcionam como barreiras ao transporte de sedimentos, favorecendo a infiltração da água no solo, resultante do aumento da matéria orgânica e na redução da densidade aparente do solo, que promovem o aumento de sua condutividade hidráulica. A vegetação funciona, ainda, como dissipadora da energia do escoamento superficial o que resulta em maior tempo de oportunidade para os processos de infiltração e deposição de sedimentos.

É fundamental avaliar as alterações nível de água e sedimentos nas bacias de retenção para definir estratégias à conservação do solo, a garantia da qualidade dos recursos hídricos e a sustentabilidade pois é um indicativo da necessidade de realização da manutenção corretiva quando há o acúmulo de água por um grande período e também quanto o extravasamento da água no interior da bacia, em condição anormal, ou seja, quando ocorrem chuvas fracas, que não geram uma grande quantidade de enxurrada em um período curto de tempo, mostra que esta já não possui volume adequado ou mesmo que perdeu sua capacidade de infiltração de água adequada.

Como as bacias propiciam maior tempo de oportunidade para infiltração, haverá uma melhor recarga dos lençóis freáticos. Tal situação resulta em um regime de produção de água mais uniforme durante o período de vazante ou estação das secas, sendo este

comportamento extremamente desejável. Avaliar as alterações nível de água e sedimentos nas bacias de retenção é fundamental para definir estratégias à conservação do solo, a garantia da qualidade dos recursos hídricos e a sustentabilidade com o uso da metodologia para monitorar as bacias em área de estrada no Programa Vida Nova Rio Formiga. Além disso, requer o desenvolvimento de uma abordagem em longo prazo, por meio do qual a proteção do solo é baseada em conhecimentos mais completos dos impactos diretos e indiretos das atividades humanas sobre o solo e das melhores práticas para minimizar a degradação desse recurso.

5.2 Condutividade Hidráulica do Solo nas Bacias de Retenção

Os valores de condutividade hidráulica do solo saturado para classificação das bacias de retenção de água e sedimentos obtidos são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5- Condutividade hidráulica, em mm/hora, encontrada nas bacias de retenção de água e sedimentos em estudo.

| Local | Kfs (mm/hora) |
|--------------|----------------------|
| B1 | 0,8316 |
| B2 | 1,4580 |
| B3 | 1,1052 |
| B4 | 1,5948 |
| B5 | 1,0224 |
| B6 | 0,9576 |
| B7 | 0,9900 |
| B8 | 0,8892 |
| B9 | 0,8028 |
| AP | 1,0260 |

Em que: B – bacia de retenção de água e sedimentos; Kfs – condutividade hidráulica; Fonte: A autora (2021).

Conforme observado, a maior condutividade hidráulica do solo saturado foi obtida na bacia B4, seguida da bacia B2. Ambas estavam localizadas em área de pastagem. Já as menores condutividades hidráulicas do solo saturado foram verificadas na bacia B9 e na bacia B1, localizadas em área de estrada.

O processo de infiltração da água é dependente da capacidade do solo em transportá-la para camadas mais profundas quando saturado, podendo ser perdida na forma de enxurrada quando a quantidade de água que chega à superfície é maior que a capacidade de infiltração (DALBIANCO et al., 2009). Assim, observa-se que houve uma elevada variação nos valores da condutividade hidráulica do solo saturado comparando a bacia B4 com a bacia

B9 sendo que quanto maior a condutividade hidráulica, maior a capacidade de infiltração da água.

5.3 Resistência à Penetração nas Bacias de Retenção.

O resumo da ANOVA do efeito das áreas avaliadas sobre a resistência a penetração mensurada em bacias de retenção de água e sedimentos e área preservada avaliadas é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Tabela resumo da ANOVA das áreas avaliadas sobre a resistência a penetração.

| FV | GL | Quadrado Médio |
|---------|----|----------------|
| Áreas | 9 | 7,5146518519* |
| Resíduo | 20 | 0,0029000000 |
| Total | 29 | |
| cv (%) | | 2,0424140 |

Em que: FV – fonte de variação; *significativo a 5% de probabilidade estatística pelo teste F; cv – coeficiente de variação

Nas áreas avaliadas houve diferença significativa em resistência à penetração, assim, as médias de resistência à penetração nos perfis avaliados, são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 – Médias de resistência à penetração em bacias de retenção de água e sedimentos e área preservada avaliadas.

| Área | RP (MPa) |
|------|-------------|
| B1 | 1,0900000 g |
| B2 | 2,5100000 d |
| B3 | 1,4100000 e |
| B4 | 4,7433333 a |
| B5 | 3,7400000 c |
| B6 | 4,5666667 b |
| B7 | 1,2466667 f |
| B8 | 4,5233333 b |
| B9 | 1,1833333 f |
| AP | 1,3533333 e |

Em que: RP: resistência à penetração. Médias seguidas por mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade estatística.

Na comparação múltipla a resistência à penetração média, no perfil de 0 até 40 cm, foi maior na bacia B4, seguido pelas bacias B6 e B8 onde o valor médio encontrado nessas foram iguais, porém são menores que a bacia B4 já nas bacias B5 e B2 os valores médios encontrados foram diferentes estatisticamente.

Ao constatar que a maior resistência à penetração média foi na bacia B4, verificou-se que o nível da água acumulado e o aporte de sedimentos não foram tão grandes, a bacia B4 é em área de pastagem e, portanto, não recebeu contribuição de canal para drenagem de escoamento superficial. Além disso, durante sua construção esta pode ter recebido maior compactação, de acordo com o objetivo de acumulação de água para dessedentação de animais. De forma geral, nas bacias da área de pastagem foi verificada uma maior RP média em comparação com as bacias da área de estrada. Além disso, com o aporte de sedimentos maior às bacias da área de estrada, há a possibilidade de acúmulo de solo com estrutura solta ou fraca.

Quanto menor a umidade do solo, maior a resistência deste à penetração (REICHERT et al., 2010). Dornelas e Thebaldi (2016) também relataram que para resistência à penetração, foram detectadas diferenças significativas para ambos os efeitos, bem como em relação à umidade do solo, os valores obtidos foram significativos quanto a atividade nele desenvolvida.

Nas áreas com maior densidade do solo, e conseqüentemente, maior resistência à penetração, a camada superficial do solo fica mais exposta à compactação causada por sobrecargas sobre o solo, seja o tráfego de máquinas, ou mesmo pisoteio de animais, (DORNELAS; THEBALDI, 2016) o que acontece na área de estudo.

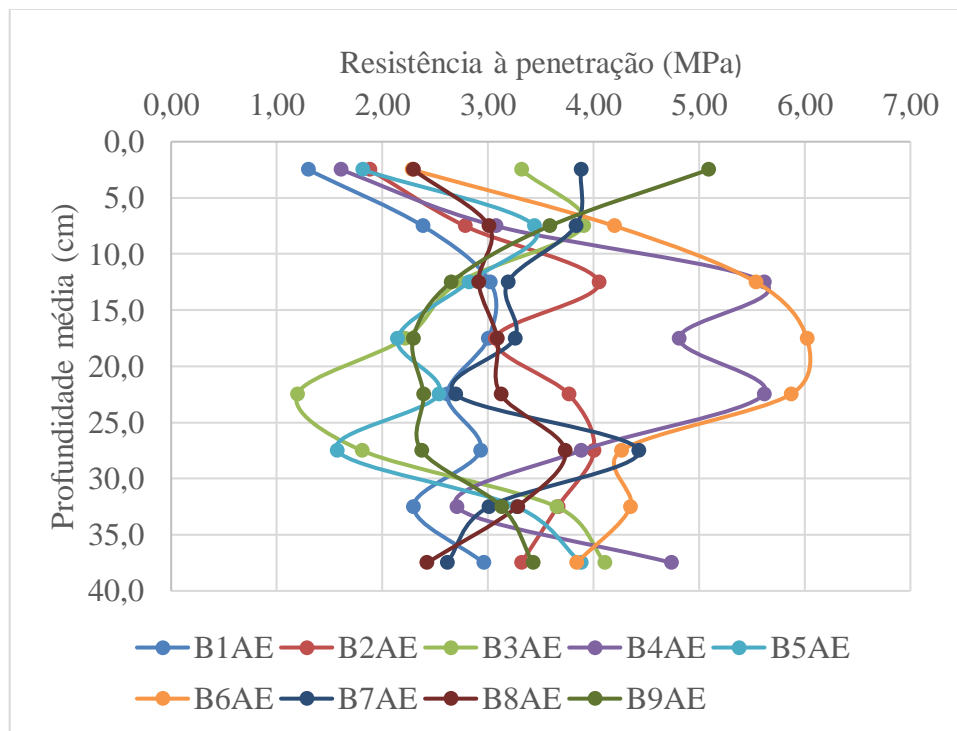
Na bacia B3 e área preservada AP os valores médios de RP encontrados foram iguais aos medidos nas bacias B7 e B9. A menor resistência à penetração média foi obtida na bacia B1, em que se teve um grande aporte de sedimentos e nível de água acumulado, por não haver bacia de retenção alguma à montante desta, assim, a bacia B1 recebe grande contribuição de escoamento superficial da estrada.

Estes efeitos afetam diretamente a recarga do lençol freático na área, pois a infiltração varia de acordo com a textura do solo, cobertura vegetal e o grau de saturação. Além disso, a velocidade do fluxo entre camadas de solo é função da condutividade hidráulica que, por sua vez, é função do teor de umidade nas camadas. Com a redução da infiltração aumenta o escoamento superficial e o tempo de permanência da água na camada superficial do solo (MENDONÇA et al., 2009).

Segundo Carvalho (2017), a compreensão do movimento da água no solo, da erosão do solo, bem como da capacidade de um determinado solo infiltrar água, requer o conhecimento das suas características físico-hídricas como por exemplo: textura, porosidade total, densidade do solo e condutividade hidráulica.

A Figura 11 traz a classificação da resistência à penetração média, no perfil de 0 até 40 cm, na área externa adjacente às bacias de retenção de água e sedimentos.

Figura 11 – Resistência à penetração, no perfil de 0 até 40 cm, na área externa adjacente às bacias de retenção de água e sedimentos em estudo.



Em que: B – bacia de retenção de água e sedimentos; AE – área externa adjacente às bacias de retenção de água e sedimentos; Fonte: A autora, 2021

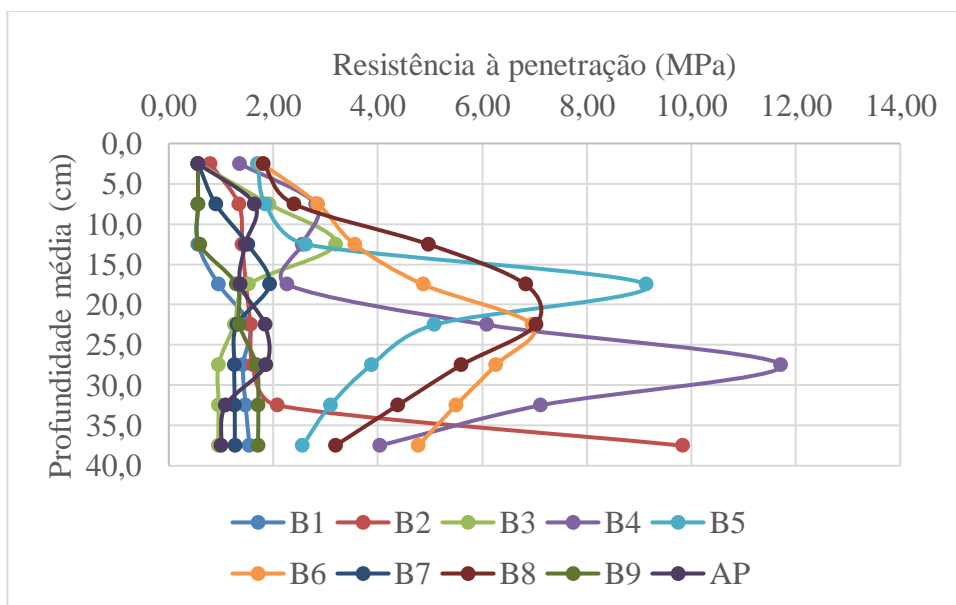
Diante a classificação da resistência à penetração média, no perfil de 0 até 40 cm, na área externa adjacente às bacias observa-se que na área B6AE houve uma maior resistência a penetração na camada de 15 à 25 cm de profundidade em comparação com as outras áreas.

Já na área B4AE encontrou-se uma maior resistência a penetração do solo na camada de 10 a 15 cm, sendo que posteriormente na camada de 15 a 20 cm deparou-se com uma camada menos compactada, que logo em seguida, na camada 20 a 25 voltou com maior resistência a penetração outra vez.

Então, observando a variação de resistência a penetração na área externa adjacente às bacias nota-se que os valores variaram entre 1,00 e 6,00 MPa diferentes dos valores da resistência à penetração nas bacias de retenção e na área preservada onde houve valores maiores e menores, entre 0,00 à 12,00 Mpa.

Já a Figura 12 mostra a resistência à penetração média, no perfil de 0 até 40 cm, nas bacias de retenção de água e sedimentos e na área preservada.

Figura 12 – Resistência à penetração média, no perfil de 0 até 40 cm, nas bacias de retenção de água e sedimentos e na área preservada em estudo.



Em que: B – bacia de retenção de água e sedimentos; AP – área preservada; Fonte: A autora, 2021

Ao observar os dados obtidos para a bacia B4, não havia uma resistência a penetração até 15 cm de profundidade, pode-se inferir que é a camada de sedimentos que estava mais solta, isso contando o período que foi monitorado, já a 27,5 cm de profundidade a resistência a penetração estava elevada. Então de acordo com os valores do *boxplot*, nota-se que não houve aporte tão grande de sedimentos, mas apresentou uma camada muito compactada, indicando que o solo estava muito seco, era pouca a quantidade de água que chegava nessa bacia ou que a bacia foi compactada quando de sua construção.

Nas bacias B1, B3, B7, B9 obteve-se a resistência à penetração baixa, áreas estas com grande acúmulo de água e grande aporte de sedimentos por receber escoamento superficial proveniente da drenagem da área de estrada. Na área preservada também se obteve resistência à penetração baixa, podendo-se inferir que o solo de ambas as áreas está úmido, pois em uma área preservada espera-se um perfil de solo mais úmido que em área não preservada, por suas

características, porém, em uma área de vegetação nativa preservada, não há trânsito de máquinas, veículos, animais e outras alterações antrópicas da paisagem que causariam a compactação do solo.

Assim, a variação de resistência à penetração média encontrada nas bacias de retenção e área preservada no perfil de 0 até 40 cm não houve camadas compactadas nas bacias B1, B3, B7, B9 e AP, havendo uma infiltração da água no solo.

Nas áreas com o valor baixo de porosidade pode ser consequência do uso do solo e do pisoteio animal que contribuiu muito porque um dos objetivos dessas bacias em área de pastagem seja dessedentação de animais, o qual degrada a estrutura e causa compactação em camadas superficiais do solo (Silva et al.,2021). Essa tendência em formar o selamento depende da estabilidade de sua estrutura e tende a aumentar conforme o aumento do conteúdo de argila, o que foi observado nas amostras do presente trabalho. Uma outra razão pode ser a ocorrência de selamento superficial no interior das bacias de retenção em função do acúmulo de sedimentos carregados das estradas, fato este que foi observado em campo, corroborando com os dados obtidos no presente estudo.

Para enfatizar a real funcionalidade das bacias de retenção estudadas é necessário o conhecimento das características físicas e hidráulicas das mesmas afim de avaliar a densidade do solo, de partículas, porosidade e umidade do solo destas estruturas, além da textura, condutividade hidráulica e resistência à penetração do solo, onde as bacias de retenção na área de pastagem apresentaram maior resistência à penetração.

Tais resultados fornecem informações relevantes para que sejam tomadas medidas adequadas de monitoramento das condições do solo, das bacias de retenção de água e sedimento como a implantação de um sistema de monitoramento usando a metodologia deste trabalho.

6 CONCLUSÃO

A metodologia utilizada mostrou-se sensível em diagnosticar as alterações no nível de água e a quantidade de sedimentos nas bacias de retenção;

As bacias de retenção na área de estrada receberam maior aporte de água e de sedimentos quando comparadas às bacias em área de pastagem;

O uso do equipamento de acompanhamento do nível de água e de sedimentos tem potencial para ser extrapolado à sua utilização em todas as bacias de área de estrada do Programa.

7 ELABORAÇÃO DE PRODUÇÃO TÉCNICA E TECNOLÓGICA

O produto técnico idealizado foi baseado na dissertação apresentada ao programa de Mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental. Foi desenvolvido um vídeo na categoria material didático e tem o objetivo de apresentar de forma educativa e explicativa o propósito das bacias de retenção e a importância da sua manutenção. Feito para compartilhar em aplicativo WhatsApp ou via Youtube de modo a facilitar a divulgação do produto técnico, bem como difundir o conteúdo técnico apresentado na dissertação.

O uso de bacias de retenção de água e sedimentos é uma das técnicas do programa de proteção de bacia hidrográfica onde a Agência Nacional das Águas – ANA junto com a Prefeitura Municipal de Formiga, o Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE e outros gestores e parceiros do “Programa Vida Nova Rio Formiga” (PVNRF) oriundo do programa Produtor de Águas incentivam financeiramente os proprietários rurais, por meio do Pagamento por Serviços Ambientais – PSA, a adotarem práticas conservacionistas em suas propriedades rurais.

O vídeo mostra a importância das bacias de retenção conhecidas popularmente como “barraginhas” apresentando todo o processo dessa estrutura, desde a ocorrência da precipitação, a infiltração na região com vegetação e a infiltração com o escoamento superficial, até o carreamento e acúmulo de sedimentos dentro da bacia, mostrando assim a necessidade de manutenção pelo excesso de carreamento de sedimentos conforme script abaixo:

“Personagem: Tainara Silveira Leal Chicri

Texto:

Bacias de retenção de água e sedimentos

As bacias de retenção de água e sedimentos conhecidas popularmente como “barraginhas” fazem parte das práticas conservacionistas adotadas no Programa Vida Nova Rio Formiga, oriundo do programa Produtor de Águas da Agência Nacional das Águas, a ANA. Este programa incentiva financeiramente os proprietários rurais por meio do Pagamento por Serviços Ambientais – PSA, o qual tem o objetivo a implantação de ações na sub bacia do Rio Formiga, rio mais importante para o abastecimento de água para o município de Formiga. Com isso, buscamos a melhoria da qualidade e aumento da quantidade de suas águas.

As bacias de retenção de água e sedimentos são práticas sustentáveis de manejo do solo e estruturas mecânicas que recebem as enxurradas que ocorrem durante a chuva, para que a água possa ser armazenada e, também, infiltrar.

As enxurradas causam erosão e transportam partículas de solo até os rios e córregos, o chamado assoreamento. No caso dos cursos d’água, isto reduz a sua calha e capacidade de transportar água, o que pode levar à ocorrência de enchentes e alagamentos.

Este assoreamento vai ocorrer naturalmente, sendo necessária a realização de limpezas ou intervenções mais drásticas, realmente dando forma novamente à “barraginha”.

Um indicativo da necessidade de realização da manutenção corretiva é o acúmulo de água por um grande período: isto indica que não está havendo infiltração. Também, o extravasamento da água no interior da bacia, em condição anormal, ou seja, quando ocorrem chuvas fracas, que não geram uma grande quantidade de enxurrada em um período curto de tempo, mostra que esta já não possui volume adequado ou mesmo que perdeu sua capacidade de infiltração de água adequada.

A retirada de sedimentos, ou seja, o desassoreamento das bacias de retenção, é realizada de forma mecânica com o uso de retroescavadeira, porém deve-se atentar para que não ocorra compactação adicional no seu fundo.

Construídas em pontos interessantes das propriedades, onde se tem maiores inclinações do terreno, são utilizadas na proteção das estradas, pois controlam a dispersão de solo devido a erosões, e as reduzem. Quando as águas das enxurradas chegam até elas, podem infiltrar, o que recarrega o lençol freático. Dependendo do local onde a recarga ocorre, alguma nascente pode ser beneficiada, porém, a água infiltrada irá, em algum momento, alimentar o escoamento dos rios e córregos.

Equipe técnica:

Mestranda: Tainara Silveira Leal Chicri

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Sousa Cavalcanti

Coorientador: Prof. Dr. Leyser Rodrigues Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi”

O produto técnico desenvolvido terá como público-alvo os gestores e integrantes dos programas produtores de água, bem como os produtores rurais. Acredita-se que o público-alvo pode ser estendido também a sociedade civil. A aplicabilidade do produto técnico refere-se ao fornecimento de informações e orientações técnicas e apresentação de proposta do uso da metodologia de monitoramento do nível de água e de sedimentos nas bacias das áreas de estrada do Programa.

REFERÊNCIAS

AKSOY, H.; KAVVAS, M. L. A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models. *Catena*, v.64, p.247–271, 2005.

ANA. **Agência Nacional das Águas. Programa Produtor de Águas.** <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/programas-e-projetos/programa-produtor-de-agua/projetos-textos/projeto-12>. Acesso em: 05 nov. 201.

ANDRADE, J. A.; NUNES, M. A. Acesso à água no semiárido brasileiro: uma análise das políticas públicas implementadas na região/Water access in brazilian semi-arid: an analysis of regional public policies. *Revista Espinhaço (UFVJM)*, Diamantina, v. 3, n. 2, p. 28-39, 2014.

ARNAU-ROSALÉN, E.; CALVO CASES, A.; BOIX-FAYOS, C.; LAVÉE, H.; SARAH, P. Analysis of soil surface component patterns affecting runoff generation. An example of methods applied to Mediterranean hillslopes (Alicante, Spain). *Geomorphology*, v. 101, n. 4, p.595-606, 2008.

BARROS, L. C. de; RIBEIRO, P. E. de. **Barraginhas: água de chuva para todos.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009.

BELLINASSO, T. B.; PAIVA, J. B.D.; Avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica semi-urbana de encosta. In: *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 12, n.4, p.169-181, 2007.

BOIX-FAYOS, C.; MARTÍNEZ-MENA, M.; ARNAU-ROSALÉN, E.; CALVO-CASES, A.; CASTILLO, V.; ALBALADEJO, J. Measuring soil erosion by field plots: Understanding the sources of variation. *Earth Science Reviews*, v. 78, p. 267–285, 2006.

BOIX-FAYOS, C.; MARTÍNEZ-MENA, M.; CALVO-CASES, A.; ARNAU-ROSALÉN, E.; ALBALADEJO, J.; CASTILLO, V. Causes and underlying processes of measurement variability in field erosion plots in Mediterranean conditions. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 32, p. 85–101, 2007.

BRACKEN, L. J., CROKE, J. The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff dominated geomorphic systems. *Hydrol. Process.*, 21, p. 1749–1763, 2007.

BRACKEN, L.J.; WAINWRIGHT, J.; ALI, G.A.; TETZLAFF, D.; SMITH, M.W.; REANEY, S.M.; ROY, A.G. Concepts of hydrological connectivity: Research approaches, pathways and future agendas. *Earth-Science Reviews*, v.119, p.17–34, 2013.

BRAGA, Benedito et al. **Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável.** 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

CABRAL. S.L., REIS.R.S., FRAGOSO JR. C.R., Potencial efeito da urbanização na produção de sedimentos mediante uso de um modelo hidrossedimentológico acoplado a um SIG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2013.

CARVALHO, D. F. de C., OLIVEIRA, L. F. C. de. **Planejamento e Manejo da Água na Agricultura Irrigada**. Viçosa. Editora UFV, 2012.

CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C. A.; CRUZ, E. S.; CEDDIA, M. B.; LANA, A. M. Q. Perda de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 385-389, 2002.

CARVALHO, Flávio Hermínio. **Uso do modelo swat na estimativa da vazão e da produção de sedimentos em bacia agrícola do cerrado brasileiro** Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2014, 154p. Dissertação de Mestrado.

CARVALHO, M.P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J. & CATANEO, A. Erosividade da chuva de Mococa (SP) analisada pelo índice EI30. **R. Bras. Ci. Solo**, n.3, p: 243-249, 1989.

CARVALHO, N. O. (2008). **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 600 p.

CARVALHO, R. N. **Bacias De Acumulação De Águas De Chuva Em Estradas Rurais : Umidade Do Solo E Vida Útil** (2017).

CERDAN, O. et al. Rates and spatial variations of soil erosion in Europe: A study based on erosion plot data. **Geomorphology**, v. 122, p. 167-177, 2010.

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**. Ed 27. 2003.

DENARDIN, J.E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. Piracicaba, ESALQ, 1990. 81p. (Tese de Doutorado).

DLAMINI, P.; ORCHARD, C.; JEWITT, G.; LORENTZ, S.; TITSHALL, L.; CHAPLOT, V. Controlling factors of sheet erosion under degraded grasslands in the Sloping lands of KwaZulu-Natal, South Africa. **Agricultural Water Management**, v. 98, p. 1711–1718, 2011.

DRUGOWICH, M.I. (coord.). **Manual Técnico Boas Práticas em Conservação do Solo e da Água**. Campinas, CATI. 2014.

FANG, N. et al. The effects of rainfall regimes and land use changes on runoff and soil loss in a small mountainous watershed. **Catena**, v.99, p.1–8, 2012.

FIENER, P.; AUERSWALD, K.; WEIGAND, S. Managing erosion and water quality in agricultural watersheds by small detention ponds. **Agriculture, ecosystems&environment**. 2005.

FONSECA, A. C. R. **Geologia geral do município de Formiga-MG**. 2008. Centro Universitário de Formiga, Unifor, Formiga, Minas Gerais.

FREITAS, A. **A didática extensionista no processo de construção social de educação ambiental e prática mecânica de conservação do solo e da água.** 2013.

FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G. J.; PRETON, N. J.; KASAI, M. Buffers, barriers and blankets: the (dis) connectivity of catchment-scale sediment cascades. **Catena**, v.70, p.49-68, 2007.

GASPAR, L.; NAVAS, A.; WALLING, D.E.; MACHÍN, J.; GÓMEZ AROZAMENA, J. Using ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb to assess soil redistribution on slopes at different temporal scales. **Catena**, v.102, p. 46–54, 2013.

GOLDMAN, M. Inventando os comuns: teorias e práticas do profissional em bens comuns. In: DIEGUES, A. C.; MOREIRA, A. C. C. **Espaços e Recursos Naturais de Uso Comum.** São Paulo: NUPAUB/USP, Cap. 2, p. 43-78, 2001.

GONZÁLEZ-HIDALGO, J.C.; BATALLA, R.J.; CERDA, A. Catchment size and contribution of the largest daily events to suspended sediment load on the continental scale. **Catena**, v. 102, p.40–45, 2013.

GREY, D.; GARRICK, D.; BLACKMORE, D.; KELMAN, J.; MULLER, M.; SADOFF, C. Water security in one blue planet: twenty-first century policy challenges for science. **The Royal Society Publishing**, v. 371, n. 20120406, p.1-10, 2013.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; AMORIM, S. S. R.; SILVA, D.D.; SILVA, A.M.J. **Controle da Erosão em Estradas Não Pavimentadas.** In: PRUSKI, F. F. (Ed) **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica.** Viçosa: UFV, p. 171-240, 2005.

GRIEBELER, N.P. **Modelo para o dimensionamento de redes de drenagem e de bacias de acumulação de água em estradas não pavimentadas.** Viçosa, MG: UFV, 2002. 121p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, 2002.

HOOKE, J. Coarse sediment connectivity in river channel systems: a conceptual framework and methodology, **Geomorphology**, v. 56, p. 79–94, 2003.

HUDSON, N. **Soil conservation.** 3.ed. Ames, Iowa State University Press, 1995. 391p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA. **Minas Gerais – Formiga.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=312610&search=||inifogr%E1ficos:-informa%E7%F5es-completas>>. Acesso em: 29 de outubro de 2018.

JAMES, A. L.; ROULET, N. T. Investigating hydrologic connectivity and its association with threshold change in runoff response in a temperate forested watershed. **Hydrol. Process.**, 21, pp. 3391 – 3408, 2007.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R., ed. **Soil erosion research methods.** Ankeny, **Soil and Water Conservation Society**, p141-160, 1988.

- LANA, C. E., & DE TARSO AMORIM CASTRO, P. Sedimentologic and provenance analysis of the Rio das Velhas upstream fluvial sediments, Ouro Preto - MG [Análise sedimentológica e de proveniência de sedimentos fluviais nas cabeceiras do rio das Velhas, município de Ouro Preto, MG]. **Revista Escola de Minas**, v.61(1), p: 63–68, 2008
- LEE, J.S.; LI, M. The impact of detention basin design on residential property value: **Case studies using GIS in the hedonic price modeling**. Landscape, 2009.
- LEPSCH, Igo Fernando; **Formação e Conservação do Solo**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.
- MERRITT, W. S.; LETCHER, R. A.; JAKEMAN, A. J. A review of erosion and sediment transport models. **Environmental Modelling & Software**, v. 18, p. 761–799, 2003.
- OKIN, G.S.; PARSONS, A.J.; WAINWRIGHT, J.; HERRICK, J.E.; BESTELMEYER, B.T.; PETERS, D.C.; FREDRICKSON, E.L. Do changes in connectivity explain desertification? **BioScience**, v. 59, n.3, p. 237–244, 2009.
- PEIXOTO, Rodrigo de Almeida Oliveira. **Estudo do transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio Jordão – UPGRH-PN 1**. 2019.
- PES, Luciano, Zucuni; GIACOMINI, Diego, Antônio. **Conservação do solo**. Santa Maria, Rede e-Tec Brasil, 2017.
- PIRES, F. R; SOUZA, C. M. **Práticas mecânicas de conservação do solo e da água**. 2. ed. Viçosa. 2006.
- PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 1. ed. Viçosa - MG: Editora UFV, 2006. v. 1. 240 p.
- PVNRF **Programa Vida Nova Rio Formiga**. Formiga – Minas Gerais. 2018.
- RODRÍGUEZ, C. A. M., & TEIXEIRA, B. A. DO N. Avaliação de bacias de retenção de águas pluviais implantadas no município de São Carlos (SP), Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v: 26(1), p: 143–150, 2021.
- RUFINO, R.L.; BISCAIA, R.C.M. & MERTEN, G.H. Determinação do potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná, através de pluviometria: Terceira aproximação. **R. Bras. Ci. Solo**, 17:439-444, 1993.
- SAAE. **Serviço Autônomo de Água e Esgoto**. Formiga - Minas Gerais. 2018.
- SANTOS, C.A.; MANZI, A.O. Eventos extremos de precipitação no estado do Ceará e suas relações com a temperatura dos oceanos tropicais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.1, p.157 -165, 2011.

SCHULER, J.; SATTLER, C. The estimation of agricultural policy effects on soil erosion - An application for the bio-economic model MODAM. **Land Use Policy**, v. 27, p. 61–69, 2010.

SILVA, A. M. DA, SILVA, M. L. N., CURI, N., AVANZI, J. C., & FERREIRA, M. M. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, v.33(6), p: 1811–1820, 2009.

SILVA, C. V. **Efeitos da implantação de cisternas para armazenamento de água de chuva na saúde infantil: estudo quase experimental na área rural de dois municípios do semiárido mineiro**. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

SILVA, M.L.N.; FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, P. & CURI, N. Índices de erosividade das chuvas da região de Goiânia (GO). **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 32, p:977-985, 1997.

TUCCI, C.E.M. **Gestão das Inundações Urbanas**. Porto Alegre: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2005. 175 p.

TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 55, n. 4, p. 31-33, 2003.

VAL, L.A.; BAHIA, V.G.; FREIRE, J.C. & DIAS JUNIOR, M.S. Erosividade das chuvas em Lavras – MG. **Ci. Prática.**,10:199-209, 1986.

VERHEIJEN, F.G.A.; JONES, R.J.A.; RICKSON, R.J.; SMITH, C, J. Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. **Earth-Science Reviews**, v. 94, p. 23-38, 2009.

VERSTRAETEN, G; POESEN, J. The nature of small-scale flooding, muddy floods and retention pond sedimentation in central Belgium. **Geomorphology**. 1999.

WESTERN, A.W.; BLÖSCHL, G.; GRAYSON, R.B. Towards capturing hydrologically significant connectivity in spatial patterns. **Water Resources Research**.v. 37 (1), p: 83 – 97, 2001.

YAIR, A.; RAZ-YASSIF, N. Hydrological processes in a small arid catchment: scale effects of rainfall and slope length. **Geomorphology**, v.61, p. 155–169, 2004.

YAN, L. J.; YU, X. X.; LEI, T. W.; ZHANG, Q. W.; QU, L. Q. Effects of transport capacity and erodibility on rill erosion processes: A model study using the Finite Element method. **Geoderma**, v. 146, p. 114–120, 2008.

ZANANDREA, F., KOBAYAMA, M., & MICHEL, G. P. **Conectividade Hidrossedimentológica: Uma Abordagem Conceitual**. 1–8, 2017.