

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**  
**AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

**DISSERTAÇÃO**

**PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS DO SOLO E PAGAMENTO POR**  
**SERVIÇOS AMBIENTAIS EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA EM**  
**DOMÍNIO DE MATA ATLÂNTICA**

**Luiza Maria Affonso Lopes da Silva**

**2023**



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

**PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS DO SOLO E PAGAMENTO POR  
SERVIÇOS AMBIENTAIS EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA EM  
DOMÍNIO DE MATA ATLÂNTICA**

**Luiza Maria Affonso Lopes da Silva**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Sady Júnior Martins da Costa de Menezes**

*e Coorientação do Professor*  
**Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro**

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

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2023

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

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

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586p

Silva, Luiza Maria Affonso Lopes, 1995-  
PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS DO SOLO E PAGAMENTO POR  
SERVIÇOS AMBIENTAIS EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA EM  
DOMÍNIO DE MATA ATLÂNTICA / Luiza Maria Affonso Lopes  
Silva. - Rio de Janeiro, 2023.  
53 f.

Orientador: Sady Júnior Martins da Costa de  
Menezes.

Coorientador: Carlos Antônio Alvares Soares Ribeiro.  
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal  
Rural do Rio de Janeiro, MESTRADO EM ENGENHARIA  
AGRÍCOLA E AMBIENTAL, 2023.

1. Análise da paisagem. 2. Modelagem ambiental. 3.  
Serviço ecossistêmico. I. Menezes, Sady Júnior Martins  
da Costa de, 1979-, orient. II. Ribeiro, Carlos  
Antônio Alvares Soares, -, coorient. III Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro. MESTRADO EM  
ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL. IV. Título.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”.

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

**LUIZA MARIA AFFONSO LOPES DA SILVA**

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

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 13/02/2023.

---

Sady Júnior Martins da Costa de Menezes. Dr., UFRRJ  
(Orientador)

---

Getúlio Fonseca Domingues. Dr., UFRN

---

Fábio Cardoso de Freitas. Dr., UFRRJ



Emitido em 13/02/2023

**HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO N° 59/2023 - PPGEAAMB (12.28.01.00.00.00.40)**

**(N° do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)**

*(Assinado digitalmente em 01/09/2023 14:17 )*

**FABIO CARDOSO DE FREITAS**

*COORDENADOR CURS/POS-GRADUACAO - TITULAR*

*CoordCGGA (12.28.01.00.00.00.15)*

*Matrícula: ###387#5*

*(Assinado digitalmente em 06/09/2023 09:49 )*

**SADY JUNIOR MARTINS COSTA DE MENEZES**

*PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR*

*DeptCMA (12.28.01.00.00.00.18)*

*Matrícula: ###315#6*

*(Assinado digitalmente em 01/09/2023 15:11 )*

**GETULIO FONSECA DOMINGUES**

*ASSINANTE EXTERNO*

*CPF: ###.###.107-##2021#####1*

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/documentos/> informando seu número: **59**, ano: **2023**, tipo:  
**HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**, data de emissão: **01/09/2023** e o código de  
verificação: **b5f732914d**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por guiar meus caminhos em todas as etapas da minha vida.

Aos meus pais, irmãs e família, por apoiarem e demonstrarem tanto orgulho da minha escolha profissional.

Aos amigos do programa PPGEAmb, em especial ao Rodrigo que foi fundamental ao longo desta pesquisa.

Aos professores que contribuíram na minha formação, ao orientador Sady Menezes por toda dedicação e direção ao longo do mestrado. Agradeço também ao coorientador professor Carlos Ribeiro pelas contribuições com sua vasta experiência profissional.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela formação ensinada, transformação e aos exemplos de profissionais para seguir.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES)/Agência Nacional de Águas - Brasil (ANA), processo nº 88887.124077/2016-00, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq), processo nº 407299/2017-3

## **RESUMO GERAL**

Silva, Luiza Maria Affonso Lopes da. Práticas conservacionistas do solo e pagamento por serviços ambientais em uma Bacia Hidrográfica em domínio de Mata Atlântica. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental). Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 53p, 2023.

O uso do solo e as atividades desenvolvidas em regiões da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD) influenciam diretamente na qualidade do solo e na água deste local. Deste modo, a gestão dos recursos hídricos em uma política de planejamento integrado se faz cada vez mais necessária para garantir a segurança hídrica no futuro, sendo essencial definir uma área de atuação para aumentar a efetividade das técnicas visando prevenir ou agir de maneira eficiente e imediata no controle dos impactos, uma vez que se tem conhecimento das feições e processos de uso e ocupação do terreno na bacia em análise. O objetivo deste trabalho consiste em indicar as possíveis práticas conservacionistas a serem aplicadas à Bacia Hidrográfica do Rio Doce na sub-bacia do Rio Turvo, identificando as áreas de potencial erosão e deposição de sedimentos pela aplicação o modelo USPED e também as áreas prioritárias à intervenção para fins de pagamento por serviços ambientais (PSA). Juntamente com está modelagem, utilizou-se dados do Código Florestal Brasileiro, Cadastro Ambiental Rural (CAR), metaheurística algoritmo genético, o calculo das taxas de deposição/erosão na paisagem. Foram complementando os valores monetários de editais PSA para os custos de oportunidade de uma propriedade oriunda do CAR na BHRT e feito sugestões tecnicas em relação às possíveis práticas conservacionistas para aperfeiçoar locais de intervenção visando à obtenção de resultados que possam ser aplicados à bacia a e de uso pelos órgãos públicos e privados, bem como o retorno futuro à sociedade dos benefícios quanto à gestão da bacia hidrográfica.

Palavras-chave: Análise da paisagem, Modelagem ambiental, Serviço ecossistêmico.

## **ABSTRACT**

Silva, Luiza Maria Affonso Lopes da. Soil conservation practices and payment for environmental services in a hydrographic basin in the Atlantic Forest domain. Dissertation (Master in Agricultural and Environmental Engineering). Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 53p, 2023.

Land use and activities developed in regions of the Rio Doce Hydrographic Basin (BHRD) directly influence the quality of soil and water in this location. In this way, the management of water resources in an integrated planning policy becomes increasingly necessary to guarantee water security in the future, being essential to define an area of action to increase the effectiveness of techniques aimed at preventing or acting efficiently and immediately. in the control of impacts, since the features and processes of land use and occupation in the basin under analysis are known. The objective of this work is to perform an analysis of a sub-basin of the BHRD, the Rio Turvo Hydrographic Basin (BHRT) through the application of geotechnologies, surveys of conservationist practices applied to territorial management, based on the analyzes and modeling of the basin in the parameters coming from the analysis of the Unit Stream Power Based Erosion Deposition (USPED), being them the land use and cover and slope classes for use in the identification of priority areas for the purposes of conservationist practices, payment for environmental services and application of these actions in post-disaster territorial management regarding the recovery and prevention of future impacts. Along with this modeling, CAR data, the Brazilian Forestry Code and monetary values of PSA public notices were used to complement the data in this visual analysis of the BHRT. In the theme of payment for ecosystemic environmental services, it will have the help of modeling, providing the flow of sediments related to erosion/deposition in the landscape and, together with the map of land use and coverage, it will be possible to improve intervention sites in order to obtain results that can be applied to the basin a and used by public and private bodies, as well as the future return to society of the benefits regarding the management of the hydrographic basin.

Keywords: Landscape analysis, Environmental modeling, Ecosystem service.



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Localização Bacia Hidrográfica do Rio Turvo .....	22
Figura 2 - Fluxograma metodológico do Algoritmo Genético por Domingues (2018) .....	24
Figura 3 - Mapa do Uso do solo para a BHRT – MG .....	29
Figura 4 - Erosão e Deposição para os Municípios de Coimbra (a) e Viçosa (b) pertencentes a BHRT.....	30
Figura 5 – Áreas de conflito entre APP e Uso e ocupação do terreno na BHRT.....	31
Figura 6 – Classe de declividade D e Uso do Solo na BHRT .....	34
Figura 7 - Dados CAR para o Município de Viçosa – MG.....	37
Figura 8 - Propriedade selecionada para estudo no Município de Viçosa – MG.....	37
Figura 9 - Uso do solo e APP para a propriedade FID 199 .....	39
Figura 10 – Classes de declividade para a propriedade FID 199.....	40
Figura 11 – Imagens de satélite para área de estudo .....	41
Figura 12 – Taxa Líquida de Erosão/Deposição para a área de estudo .....	42

## ÍNDICE DE EQUAÇÕES

$T = R \cdot K \cdot C \cdot P \cdot U_m \cdot \sin\beta\eta$ (Equação 1).....	23
$ED = dT \cdot \cos\alpha dx + d$ (Equação 2).....	24
$P.A.E\% = 100(1 - \Phi_1\Phi_0)$ (Equação 3).....	27

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Valores pagos aos produtores rurais em programas de PSA.....	20
Tabela 2 - Classificação do relevo em função dos níveis de declive.....	26
Tabela 3 – Valores PSA de acordo com Igarapé (2015) – simplificada pela autora.....	28
Tabela 4 – Conflito de áreas do Uso e cobertura do terreno na BHRT .....	32
Tabela 5 - Classes de declividade na BHRT .....	32
Tabela 6- Uso do solo proporcional a cada classe do solo da BHRT.....	35
Tabela 7 – Classes de relevo para a propriedade FID 199.....	39

## LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

AG – Algoritmo Genético  
ANA – Agência Nacional de Águas  
APP – Áreas de Preservação Permanente  
BHRD – Bacia Hidrográfica do Rio Doce

BHRT – Bacia Hidrográfica do Rio Turvo  
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
CAR – Cadastro Ambiental Rural  
EMATER – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
FGBPN – Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza  
ILFP – Integração Lavoura-Pecuária-Floresta  
INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária  
INEA – Instituto Estadual do Ambiente  
PC – Práticas Conservacionistas  
PNPSA – Política Nacional de Pagamento de Serviços Ambientais  
PSA – Pagamento de Serviços Ambientais  
SE – Serviço Ecológicos  
SIG – Sistema de Informação Geográfica  
SPD – Sistema Plantio Direto  
USPED – Unit Stream Power Based Erosion Deposition  
TNC – The Nature Conservancy

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1	Erosão do solo.....	15
2.2	Unit Stream Power Erosion and Deposition (USPED).....	16
2.3	Práticas Conservacionistas (PC).....	17
2.4	Pagamento por Serviços Ambientais (PSA).....	18
3.	METODOLOGIA.....	21
3.1	Área do estudo.....	21
3.2	Unit Stream Power Erosion and Deposition (USPED).....	22
3.3	Metaheurística Algoritmo Genético (AG).....	23
3.4	Uso e ocupação do terreno.....	25
3.5	Área de Preservação Permanente.....	25
3.6	Classes de declividade.....	26
3.7	Cadastro Rural Ambiental (CAR).....	26
3.8	Pagamento por Serviços Ambientais (PSA).....	27
4.	RESULTADOS.....	29
4.1	Uso e cobertura do terreno.....	29
4.2	Erosão e Deposição do solo.....	30
4.3	Áreas de preservação permanente X Uso e cobertura do terreno.....	31
4.4	Classes de declividade.....	32
4.4.1	Classes de declividade e PC.....	32
4.4.2	Classes de Declividade X Uso e cobertura do terreno.....	35
4.5	Análises de uma Propriedade Rural via dados do CAR.....	36
4.5.1	Áreas de preservação permanente X Uso e cobertura do terreno na propriedade rural de estudo.....	38

4.5.2 Declividade na propriedade de estudo.....	39
4.6 PSA para a BHRT na propriedade de estudo.....	43
5. CONCLUSÕES.....	44
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

# 1. INTRODUÇÃO

A Região Hidrográfica Atlântico Sudeste drena uma das mais expressivas regiões hidrográficas brasileiras. É a segunda região mais populosa, dentre as 12 regiões do país, com aproximadamente 28 milhões e 236 mil habitantes (IBGE, 2010). Apresenta alta diversidade de atividades econômicas e significativo parque industrial, constituindo-se em uma das mais desenvolvidas regiões do país (ANA, 2015).

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD) tem como característica uma área de drenagem que corresponde a cerca de 86,7 mil km<sup>2</sup>, dos quais 86% encontram-se no Estado de Minas Gerais e 14% no Espírito Santo (ANA, 2021).

Ocorreu no ano de 2015, um dos maiores acidentes ambientais da história no Brasil, afetando áreas que estão inseridas na BHRD. Localizado no município de Mariana, no Estado de Minas Gerais, o rompimento do depósito de rejeito de mineração contido na barragem de Fundão. Este depósito de rejeito é administrado pela empresa Samarco Mineração S. A., representante e subsidiária de um consórcio internacional das empresas Vale S. A. e a BHP Billiton (Conceição, 2019).

A partir deste marco trágico, a BHRD necessita de ações que minimizem os danos causados ao seu ecossistema. O impacto do rompimento destruiu cursos d'água, áreas de preservação permanente (APPs), pastos, agricultura, áreas residenciais e demais infraestruturas rurais e urbanas (IBAMA, 2015). Neste contexto, ações são necessárias para melhoramento da área atingida em relação aos recursos hídricos, solo e ecossistemas naturais (Schmitt & Moreira, 2015).

As bacias hidrográficas são consideradas unidades de planejamento e dessa forma a ocupação da terra e a aplicação de técnicas conservacionistas visam o controle da erosão hídrica, evitando a degradação do solo, da água e dos recursos naturais (Barbosa et al., 2020).

As práticas conservacionistas (PC) podem ser divididas em edáficas, vegetativas e mecânicas, de modo que ao manejar o solo se mantenha ou melhore a sua condição. Através da cobertura do solo, níveis adequados de fertilidade, construção de terraceamento, barragens e bacias de captação de água, é favorecida a infiltração de água no solo, reduzindo o escoamento superficial e regularizando os cursos d'água.

Ao utilizar PC com o auxílio do Sistema de Informação Geográfica (SIG), é possível ter conhecimento do processo erosivo do solo que age sobre aquele ambiente, utilizando modelos e parâmetros que possam determinar o comportamento deste processo para a bacia em estudo, como é o caso da aplicação do modelo Unit Stream Power Based Erosion Deposition (USPED). A erosão é, portanto, um processo natural, que tem por principais fatores condicionantes: a erosividade da chuva, a erodibilidade do solo, o relevo e a cobertura vegetal.

Além do mais, é possível citar diversos outros fatores amenizadores ou intensificadores da erosão, como as práticas de manejo do solo, conservacionistas e preservacionistas, desastres ambientais, mudanças climáticas, entre muitos outros que interferem de forma direta ou indireta nas etapas da erosão (Bertoni & Neto, 2012; Sousa & Paula, 2019).

O Pagamento pelos Serviços Ambientais (PSA) é um instrumento que agrega incentivos econômicos, utilizando as forças de mercado por meio de relações contratuais, para melhorar ou manter a qualidade ambiental. Este possibilita tomadas de decisões em temáticas envolvendo práticas conservacionistas sendo considerado um programa eficiente, pois recompensa quem produz ou mantém serviços ambientais ecossistêmicos e incentiva quem não promoveria na ausência de estímulo monetário (Naeem et al., 2015; Santos & Silvano, 2016; Periotto et al., 2018; Simedo et al., 2020).

A sistematização do PSA contempla serviços de provisão, reguladores, culturais e de suporte, tendo enfoque em um benefício específico ou em múltiplos. Entre os tipos de serviços ambientais ecossistêmicos mais frequentes destacam-se: sequestro e estoque de carbono; conservação da biodiversidade; e serviços hídricos, sendo estes voltados à produção de água em quantidade e qualidade adequadas, mediante práticas para diminuir a erosão e a poluição hídrica (Fidalgo et al., 2017).

Desta maneira, para se regularizar e nortear a implementação da política pública de PSA, foi sancionada pelo Governo Federal a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA), por meio da Lei nº 14.119/2021 (Brasil, 2021). Essa lei é de suma importância para o avanço do desenvolvimento sustentável do país, pois dialoga em torno da temática de serviços ambientais e permite um alinhamento entre os diversos setores, especialmente entre agricultura e meio ambiente (Coelho et al., 2021).

O ecossistema de bacias hidrográficas também se inclui em uma unidade fundamental para a prestação de um serviço ambiental considerando os recursos naturais (Simedo et al., 2020).

Ao longo do desenvolvimento desta pesquisa, será abordado o uso de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e técnicas de Sensoriamento Remoto (SR), explorando recursos disponíveis que permitem obter, de forma automática, informações hidrológicas fundamentais e também dados de uso e ocupação do terreno para análise das corretas práticas conservacionistas a serem adotadas para a bacia hidrográfica e o cômputo das atividades vindas pelo PSA para estas áreas em recuperação e/ou com as práticas conservacionistas adotadas e inseridas.

As informações hidrológicas são base para diferentes tipos de modelos propostos para descrever e estimar a perda de solo pela erosão hídrica (Wischmeier & Smith, 1965; Wischmeier & Smith, 1978; Domingues, 2018). Modelos derivados do método empírico USLE (Universal Soil Loss Equation, Wischmeier & Smith, 1978), mas que agregam uma base física que tenta relacionar a morfologia do relevo com os parâmetros de escoamento definidores da erosão são designados semi-empíricos, conceituais ou distribuídos, a exemplo do modelo USPED (Mitasova et al., 1996; Oliveira et al., 2016).

Uma vantagem do USPED é o fato deste prever a distribuição espacial da erosão, bem como as taxas de deposição, em condições de fluxo superficial uniforme e precipitação elevada. O diferencial do modelo consiste em descrever o processo erosivo associado ao fluxo laminar e sulcos em terrenos convergentes e divergentes em grandes áreas, a partir de um modelo digital de elevação (MDE) aliado ao SIG (Moore & Wilson, 1992; Oliveira et al., 2016).

O conhecimento das taxas de erosão do solo e também da deposição que ocorre na bacia hidrográfica é importante à compreensão dos problemas ambientais, pois permite identificar práticas diárias que mais contribuem para a preservação/conservação dos solos.

O objetivo deste trabalho consiste em indicar as possíveis práticas conservacionistas a serem aplicadas à Bacia Hidrográfica do Rio Doce na sub-bacia do Rio Turvo, identificando as áreas de potencial erosão e deposição de sedimentos pela aplicação o modelo USPED e também as áreas prioritárias à intervenção para fins de pagamento por serviços ambientais.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Erosão do solo

O solo é um recurso natural que desempenha um papel vital, uma vez que fornece muitos serviços e bens ecossistêmicos importantes de apoio, provisão, regulação e cultural (Poesen et al., 2018). A sua constituição se dá em seções paralelas, organizadas em camadas e/ou horizontes que se distinguem do material de origem inicial, geralmente rochoso, sendo resultado de adições, perdas, translocações e transformações de energia e matéria. Estes ocorrem ao longo do tempo e sob a influência dos fatores clima, organismos e relevo (Santos et al., 2018).

Entre todos os processos de degradação do solo, a erosão do solo foi identificada no Painel Técnico Intergovernamental do Solo (ITPS) como a ameaça mais grave (Montanarella et al. 2016; Poesen et al., 2018). O processo de erosão do solo ocorre de forma natural na paisagem, e a sua problemática é iniciada através da ação antropogénica que pode acelerar este processo geomorfológico acarretando na degradação ambiental em vários países do mundo (Guerra et al., 2017; Poesen et al., 2018; Santos & Guerra, 2021).

A questão complexa da erosão laminar afeta a fertilidade do solo, podendo evoluir para sulcos e voçorocas, reduzindo a área de plantio. Devido a este problema, a demanda de cultivo dos países em desenvolvimento e subdesenvolvidos está sendo alterada e não suprida. (Prasad & Tiwari, 2020).

A erosão nas encostas causada pela água é o fenômeno que tem a maior recorrência mundialmente. Através da remoção e o transporte de partículas do solo pela superfície ou subsuperfície até diminuir a energia do fluxo e ocorrer a deposição do material em partes mais baixas da encosta, ou lançando-o no canal fluvial (Goudie, 1995; Morgan, 2005; Guerra et al., 2013; Poesen et al., 2018; Santos & Guerra, 2021), causando assoreamento nos rios e empobrecimento do solo.

A erodibilidade do solo indica através de propriedades físicas, químicas e mineralógicas a sua suscetibilidade à erosão associadas aos outros fatores controladores da erosão. Estas propriedades que compõem o solo influenciam na velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade de absorção da água pelo solo, assim como as que geram maior resistência à desagregação e remoção de partículas do solo, são fundamentais para acessar sua erodibilidade que varia ao longo do tempo de acordo com a



dinâmica pedológica e sua relação com o ambiente. Entre elas, destacam-se: textura, teor e estabilidade dos agregados, densidade do solo, porosidade, teor de matéria orgânica e pH (Goudie, 1995; Morgan, 2005; Bertoni & Neto, 2014; Poesen et al., 2018; Santos & Guerra, 2021).

A cobertura vegetal funciona como uma proteção natural para o solo contra a erosão. Ela protege o solo contra o impacto direto das gotas de chuva e dispersa a água da chuva através de sua interceptação e armazenamento pelas folhas, galhos e troncos. As raízes das plantas desempenham um papel importante contra os processos de erosão incisivos, aumentando a resistência à tração (coesão), devido ao enlaçamento físico do solo (Li et al., 2017; Poesen et al., 2018). A vegetação também fornece matéria orgânica para os solos e contribui com sua permeabilidade e armazenamento de água, diminui a velocidade e dispersa o fluxo superficial através da formação de serapilheira (Morgan, 2005; Coelho Netto, 2015; Goudie & Viles, 2016; Santos & Guerra, 2021).

## **2.2 Unit Stream Power Erosion and Deposition (USPED)**

A modelagem da erosão do solo fornece uma estimativa quantitativa e consistente do fenômeno sob várias condições, gerando nos resultados um auxílio para a tomada de decisão sobre a área avaliada.

Existem uma ampla variedade de modelos empíricos para a avaliação da erosão do solo em grandes áreas como o USLE (Wischmeier & Smith, 1978), o MUSLE (Williams, 1975), o RUSLE (Renard et al., 1997), o RUSLE3D (Mitasova & Mitas, 1999), o USPED (Mitasova et al., 1996; Mitas & Mitasova, 1998; Mitasova & Mitas, 1999b). Estes modelos são projetados para prever a erosão de encostas e transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica em escala com cobertura de terra, solo, topografia e dados climáticos (Kirkby et al., 2008; Arrebei et al., 2020).

O modelo USPED baseia-se sobre a capacidade de transporte do solo e tem a possibilidade de identificar a distribuição espacial das taxas de erosão e deposição em um estado constante de fluxo do solo com condições uniformes devido a erosividade da chuva. Estes possíveis resultados tornam-se fundamentais na investigação do impacto das mudanças climáticas e para o planejamento de práticas de manejo, de conservação do solo e da água a fim de minimizar os efeitos negativos da erosão hídrica no ambiente.

Neste sentido, a determinação dos valores da erosividade, ao longo do ano, permite identificar os meses nos quais os riscos de perdas de solo são mais elevados, razão que exerce papel relevante no

planejamento de PC fundamentadas na máxima cobertura do solo nas épocas críticas de maior capacidade erosiva das chuvas (Silva Neto et al., 2022).

Chen (2022) realizou uma triagem de trabalhos que apontam para as principais e atuais temáticas desenvolvidas exclusivamente com o modelo USPED. Gioia (2021) utilizou a modelagem para prever a localização da erosão linear em uma bacia hidrográfica de 7 km<sup>2</sup> no sul da Itália e concluiu que o modelo USPED previu a localização da erosão linear de maneira bastante confiável. Da mesma forma, Domingues (2020) usou o modelo e algoritmo genético para otimizar a localização e o tamanho das zonas de restauração florestal. Além disso, Leh (2013) utilizou o modelo USPED para examinar o efeito da mudança no uso da terra no risco de erosão do solo, e por Liu et al. (2021) para modelar o efeito da mudança na cobertura da terra na dinâmica do carbono. A Skagen (2016) usou o USPED para prever o acúmulo de sedimentos em zonas úmidas nas regiões do interior da América do Norte e avaliou as contribuições relativas da precipitação e do uso da terra. Young (2014) investigou o efeito da redistribuição do carbono orgânico do solo em relação a produtividade do solo e no rendimento das culturas em campos agrícolas no meio-oeste dos EUA. Além disso, Honek (2020) usou o USPED para simular o assoreamento e previu a vida útil de um pequeno reservatório.

### **2.3 Práticas Conservacionistas (PC)**

O uso do solo de forma intensiva sem manejos adequados pode apresentar perdas de atributos físicos e químicos resultando em sua compactação, diminuição do volume e estabilidade dos agregados. Isto, conseqüentemente diminui a infiltração, a penetração radicular e a cobertura vegetal. Com a finalidade de conter esta possível degradação pode ser realizada PC do solo, que se diferem entre edáficas, vegetativas e mecânicas, utilizando de acordo a melhor adaptação para controlar ou evitar os danos na área de atuação.

Em busca da melhora da fertilidade, o solo é enriquecido para prevenir de eventos que o afetem. Zonta (2012) menciona que a adubação verde, adubação orgânica e a restrição de queimadas são exemplos que podem ser adotados nas práticas edáficas.

As PC de origem biológica têm a finalidade de manter ou recompor a rugosidade da superfície, aumentando a densidade das espécies por unidade de área e cobertura da superfície foliar, que atua diretamente na amortização do impacto das gotas da chuva sobre o solo, potencializando a infiltração

devido a interceptação, reduzindo o escoamento e conseqüentemente minimizando a erosão (Coelho, 2005; Sales et al., 2021). Nessas práticas vegetativas são importantes a cobertura do solo, cordão de vegetação, alternância de culturas, sistema de plantio direto (SPD), reflorestamentos e sistemas agroflorestais. Atréadas a estas se tem ganhos de incremento de carbono, estímulo à ciclagem de nutrientes, redução de ervas daninhas e controle da temperatura e da água no solo.

As práticas de conservação do solo consideradas como mecânicas são aquelas em que se recorre a estruturas artificiais para reduzir a velocidade de escoamento da enxurrada e facilitar a infiltração da água no solo. Entre as práticas mecânicas mais difundidas podemos citar o plantio em curvas de nível, o terraceamento, obras de drenagem e conteção, podendo utilizar-se de barramentos de pedras ou de pneus usados (Lepsch, 2010; Sales et al., 2021) para limitar grandes movimentações do solo e da água.

De acordo com Simedo (2020) em seu estudo teve-se o objetivo de restaurar APPs e complementar às demais práticas de recuperação ambiental, realizando o reflorestamento no entorno do córrego, embasado no sistema agroflorestal. Em torno de quatro anos após as PC do solo terem sido implementadas, notou-se o aumento da produção de água nos córregos. Resultados como este demonstram a importância do crescimento da área de mata ciliar, das práticas de terraceamento, plantio direto e nivelamento, todas realizadas nesta microbacia.

Também é possível perceber a eficiência aumentada das PC na medida em que foram implantadas de forma coordenada e integradas entre si, tendo resultados melhores do que as aplicadas individualmente. Pode-se citar também que o efeito da vegetação e das florestas contribui para a regulação do ciclo hidrobiológico e maior quantidade e qualidade da água nas bacias hidrográficas (Tundisi et al., 2010; Krishnaswamy et al., 2013; Aguilar et al., 2018; Ferreira et al., 2019; Bremer et al., 2019; Simedo et al., 2020).

## **2.4 Pagamento por Serviços Ambientais (PSA)**

A recente aprovação da PNPSA (Lei nº 14.119/2021) abre oportunidades e traz diretrizes para a expansão e o aperfeiçoamento dos programas de PSA no Brasil (Coelho et al., 2021). Estes programas visam a melhoria do meio ambiente, através dos Serviços Ecossistêmicos (SE) agregando qualidade de vida humana e restauração da fauna e flora de forma harmônica.

Os SE são definidos de acordo com a PNPSA como benefícios relevantes para a sociedade gerados pelos ecossistemas, em termos de manutenção, recuperação ou melhoria das condições ambientais, nas seguintes modalidades:

- I. Serviços de provisão: fornecem bens ou produtos ambientais utilizados pelo ser humano para consumo ou comercialização, tais como água, alimentos, biocombustíveis, madeira e extratos, entre outros;
- II. Serviços de suporte: mantêm a perenidade da vida na Terra, tais como a ciclagem de nutrientes, a decomposição de resíduos, a produção, a manutenção ou a renovação da fertilidade do solo, a polinização, a dispersão de sementes, o controle de populações de potenciais pragas e de vetores potenciais de doenças humanas;
- III. Serviços de regulação: contribuem para a manutenção da estabilidade dos processos ecossistêmicos, tais como o sequestro de carbono, a purificação do ar, a moderação de eventos climáticos extremos, a manutenção do equilíbrio do ciclo hidrológico, a minimização de enchentes e secas, e o controle dos processos críticos de erosão e de deslizamento de encostas; e
- IV. Serviços culturais: constituem benefícios não materiais providos pelos ecossistemas, por meio da recreação, do turismo, da identidade cultural, de experiências espirituais e estéticas, entre outros.

O presente estudo beneficia-se da PNPSA, Art. 4º da Lei nº 14.119/2021, a partir dos objetivos descritos nos itens I ao IV, em que orienta atuação do PSA a fim de manter, recuperar ou melhorar os SE. Estes, estimula a conservação dos ecossistemas, evita a perda da vegetação nativa e a degradação da paisagem. Os itens também trazem perspectivas para questões de segurança hídrica, regulação do clima e desmatamento florestal, reconhecendo que as iniciativas individuais ou coletivas que favoreçam a melhoria dos SE, por meio de retribuição monetária ou não devam ser efetivadas.

Atualmente, existe uma dificuldade na valoração dos serviços ambientais e múltiplas tecnologias para avaliação e a priorização de áreas, em sua maioria in loco, que variam de acordo com editais públicos e/ou privados. A Fundação RENOVA (2021), criada após o acidente envolvendo rejeito de mineração na BHRD, lançou um edital para buscar por produtores que desejam colaborar com áreas para o PSA. A organização colaborava com R\$ 35,00/hectare/mês e a capacidade de carga de 0,6 cabeças de gado por

hectare, chegando-se ao valor de R\$ 252,00/hectare/ano em 2019, e para o ano de 2021 este valor foi aumentado para R\$ 262,14/hectare/ano.

A Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza criou a Rede Oásis, uma iniciativa que conecta atores estratégicos de diferentes setores, em prol da conservação da natureza em propriedades particulares. Para o Estado de SP a rede atuou em propriedades com média de 60 hectares que não têm como objetivo principal a agricultura (geralmente são propriedades de lazer), e os pagamentos mensais oscilam entre R\$ 100 e R\$ 7.000,00 por mês, dependendo de características ambientais como densidade da água, conservação da floresta, e condições sanitárias (Young & Bakker, 2014).

Nesta mesma rede, no Estado do PR, apresenta-se uma realidade contrastante com área média menor (24 hectares), as mensalidades variam de R\$ 80 a R\$ 597 com a fórmula de cálculo atual. Como a receita líquida por propriedade é de aproximadamente R\$ 500 por mês, o PSA corresponde a um aumento na receita que varia de 18% a 100%, dependendo da produção e das características da propriedade (FGBPN, 2011; Young & Bakker, 2014 ).

Os autores Oliveira & Reis (2020) reuniram informações de programas com aplicação do mecanismo de PSA com foco na água, e os valores pagos aos produtores rurais a partir da aplicação do método de custo de oportunidade, sendo visualizados na Tabela 1 abaixo.

<b>Programa/Estado</b>	<b>Valores pagos (R\$)</b>
Produtores de água e Floresta – Bacia Guandu/RJ	R\$ 100,00/ha/ano
Produtores de água – Bacia Guandu/ES	R\$ 80 a R\$ 340/ha/ano
Conservador de água Extrema/MG	R\$ 176/ha/ano
Produtor de água do Rio Camboriú/SC	R\$ 151,91 (12 a 23 unidades fiscais do município)
Corredores do Vale do Guaratinguetá – BHPS/SP	R\$ 40 a R\$ 320/ha/ano
Produtores de água São Francisco Xavier/SP	R\$ 1.424,26/ha/ano
Rede Oásis/PR	R\$ 93 a R\$ 597/ha/ano
Rede Oásis/SP	R\$ 100 a R\$ 7.000 /ha/ano
RENOVA - BHRD/MG	R\$ 35,00/hectare/mês a R\$ 261,14/hectare/ano

Tabela 1 – Valores pagos aos produtores rurais em programas de PSA

Fonte: Adaptado de Guedes & Seehusen (2011) e Oliveira & Reis (2020).

No cálculo dos custos de oportunidades, citados na tabela 1, foram consideradas variáveis tais como: declividade, erosão, área de cobertura vegetal, extensão da área, áreas a serem restauradas, área de proteção de capoeira, recuperação de áreas degradadas, valores de arrendamento, estágio de conservação, áreas de intervenção, quantidade de nascentes em uma propriedade, valores de reposição, controle de erosão, produção e armazenamento de água, manutenção da qualidade da água, estágio de regeneração da floresta, entre outros fatores que foram pertinentes no momento de estabelecer o modelo econométrico e as exigências do editais atendidos (Oliveira & Reis, 2020) .

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 Área do estudo**

O presente estudo situa-se na Região Hidrográfica Atlântico Sudeste, na BHRD, precisamente na sub Bacia Hidrográfica do Rio Turvo (BHRT) compreendendo os municípios de Viçosa, Guaraciaba, Teixeiras, São Miguel do Anta, Ervália, Coimbra, São Geraldo, Cajuri, Paula Cândido, Porto Firme e Visconde do Rio Branco, todos estes localizados no Estado de Minas Gerais (Figura 1).

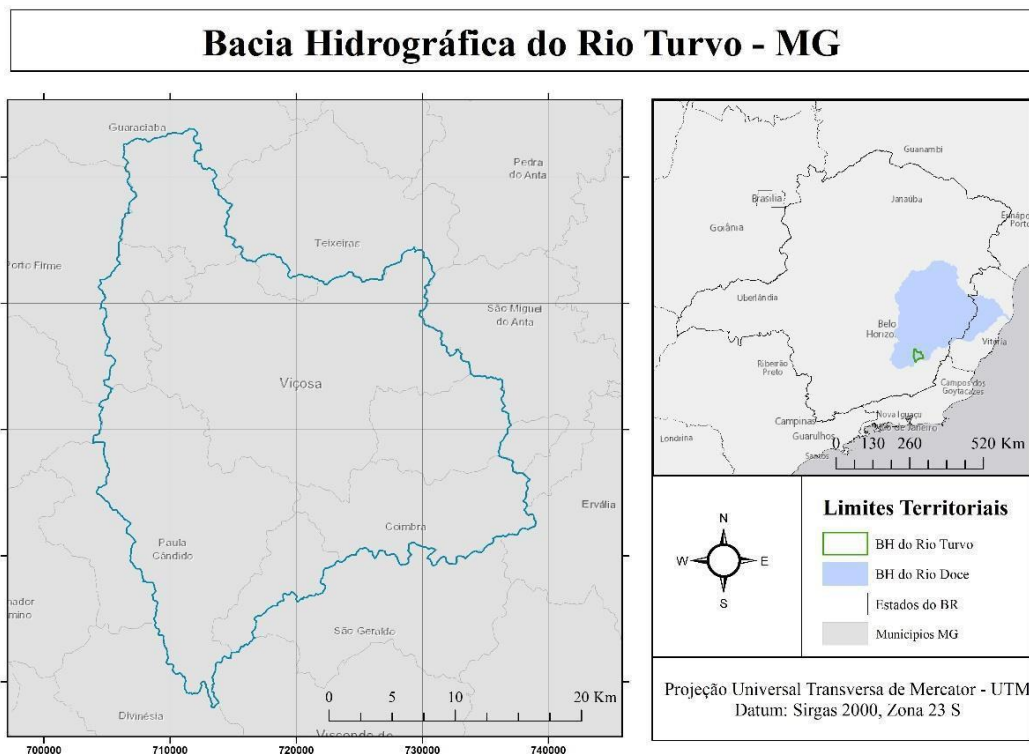


Figura 1 - Localização Bacia Hidrográfica do Rio Turvo

A BHRT tem 848,38 Km<sup>2</sup> e é um afluente do Rio Piranga, um importante formador do Rio Doce. A região apresenta predominantemente relevo de suave ondulado a forte ondulado. O solo da região foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico e Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico (Santos et al., 2018).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região enquadra-se no tipo Cwa e Cwb (clima de inverno seco e verão chuvoso). A média anual pluviométrica de Seriquite é de 1.373,8 de acordo com o estudo Vilar (2009), para estação de Viçosa apresenta uma média anual de 1.342,1 mm, com um período chuvoso de outubro a março e um período de estiagem de abril a setembro.

### 3.2 Unit Stream Power Erosion and Deposition (USPED)

O modelo USPED (Equação 1) gera os valores de perdas de solo a partir da multiplicação de índices que consideram o efeito dos fatores: chuva, solo, topografia, cobertura e manejo do solo e práticas conservacionistas adotadas.

$$T = R.K.C.P.U^m.(\sin\beta)^n \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

- T - Fluxo de sedimentos ( $\text{ton.m.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ );
- R - Fator de erosividade da chuva ( $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{hr}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ );
- K - Fator de erodibilidade do solo ( $\text{Mg.hr. MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ );
- C - Fator de uso/manejo do solo (adimensional);
- P - Práticas conservacionistas adotadas (adimensional);
- U - Área de contribuição por unidade de largura ( $\text{m}^2.\text{m}^{-1}$ );
- $\beta$  - Ângulo de inclinação em graus; e
- $m, n$  - Parâmetros do impacto de diferentes tipos de fluxo e propriedade do solo.

### 3.3 Metaheurística Algoritmo Genético (AG).

Para um estudo integrado da BHRT, e prosseguir com a melhor localização, tamanho e a forma de zonas de vegetação com a finalidade de mitigar a erosão e o arraste de sedimentos, foi utilizado a metaheurística algoritmo genético (AG).

Segundo Domingues (2018) o AG é um algoritmo de busca estocástico inspirado e simula a evolução de uma população inicial, em que os indivíduos mais aptos sobrepuja os demais, utilizando-se dos mecanismos naturais da evolução: seleção, cruzamento e mutação (Goldberg & Holland, 1988; Holland, 1992; Scrucca, 2013).



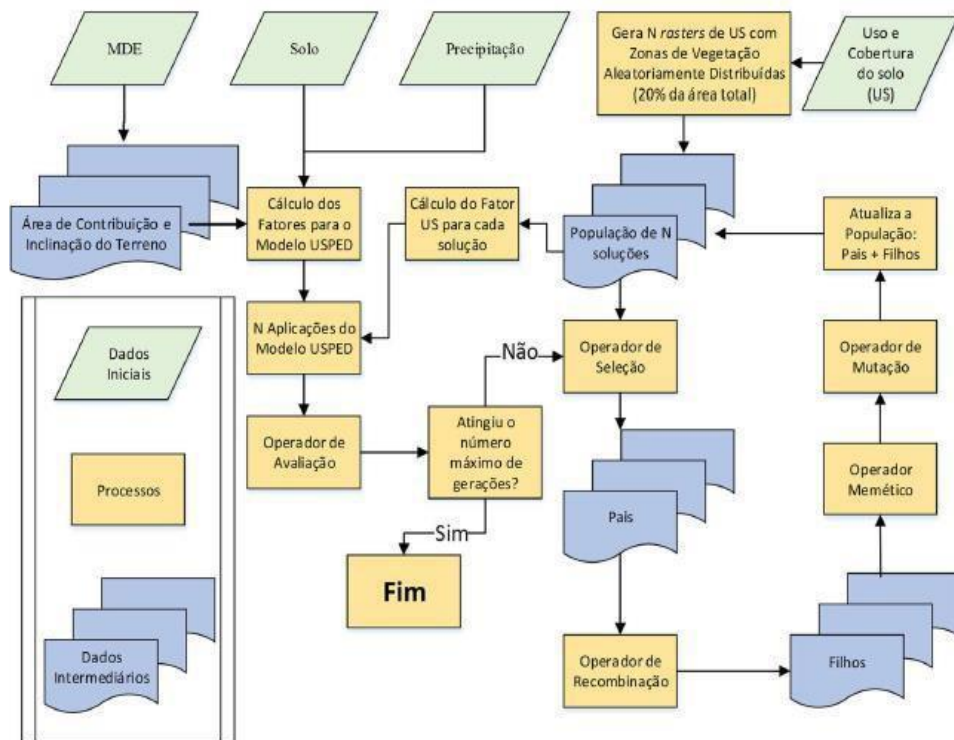


Figura 2 - Fluxograma metodológico do Algoritmo Genético por Domingues (2018).

Após o modelo gerado pelo AG, será calculado a taxa líquida de erosão/deposição, uma mudança no fluxo de sedimentos como apresenta a Equação 2 (Mitasova et al., 1996; Mitas & Mitasova, 1998; Domingues, 2018). No caso de transporte limitado do solo, se o desprendimento do solo exceder a capacidade de transporte de sedimentos do escoamento superficial, o fluxo de sedimentos será igual a capacidade de transporte de sedimentos.

$$ED = \frac{d(T \cdot \cos(a))}{dx} + d \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

- ED - Taxa Líquida de Erosão/Deposição;
- T - Fluxo de sedimentos; e
- A - Orientação da superfície do terreno (graus).

Toda a modelagem USPED e AG na BHRT foi realizada em parceria com o grupo de estudos do edital CAPES-FAPEMIG-FAPES-CNPQ-ANA nº 06/2016. Sendo assim, após os resultados obtidos,

fez-se a análise visual aconselhando as melhores PC de acordo com a análise técnica e aptidão agrícola local, com a finalidade de estudar a erosão do solo, o comportamento da deposição e o panorama atual na BHRT.

### **3.4 Uso e ocupação do terreno**

Utilizou-se dos dados do MapBiomas (2021) – coleção 6, que forneceu 25 classes de uso e cobertura da Terra no período de 1985 – 2020 para toda área de estudo. Para estes dados foi feita análises conjuntas em termos interpretação da BHRT, de legislação, aplicação de PC e a possibilidade de sobreposição de áreas, utilizando as ferramentas de análise espacial em softwares específicos.

### **3.5 Área de Preservação Permanente**

A Lei de Proteção da Vegetação Nativa n. 12.651/12 (Brasil, 2012), regulamenta o uso, a proteção de florestas e demais tipos de vegetação nativa dos imóveis rurais privados. Os dois principais mecanismos do Código Florestal para a proteção e regulamentação do uso da vegetação nativa são as reservas legais e as APPs.

De acordo as normas a serem seguidas, e que foram adotadas no presente trabalho, o Código Florestal determina no capítulo II no 4º artigo:

I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de 30 metros, para os cursos d'água de menos de 10 metros de largura.

IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros; e

V - as encostas ou partes destas com declividade superior a 45° , equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive.

A análise deu-se por meio de análise espacial utilizando softwares específicos, seguindo o Código Florestal vigente, determinando assim uma faixa de 30 m destinados à proteção e/ou recuperação destas áreas em todos os cursos d'água, pois a hidrografia da BHRT, adotada nesta pesquisa, tem caráter unifilar. Esta metodologia abrange para o cálculo de raio das nascentes (item IV) e para a declividade superior a

45° (item V), foi feita a seleção das classes de declividade escarpado (>75%) segundo Lepsch (1991), que atendem a obrigatoriedade exigida.

### 3.6 Classes de declividade

Os dados da classe de declividade foram extraídos a partir do modelo digital de elevação (MDE) no ArcGIS. Utilizou-se a ferramenta *Slope* e transformou-se o raster em polígono para o cálculo de áreas da classe de declividade com a classificação segundo Lepsch (1991). Pela Tabela 2, visualizamos a nomeação das sete classes de relevo segundo o Manual Para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso.

<b>Classes de declividade</b>	<b>Graus de inclinação</b>	<b>Nível de declive (%)</b>
A – Plano	0° – 1°8'45''	<2
B – Suave Ondulado	1°8'45'' a 2°51'45''	2-5
C – Ondulado	2°51'45'' a 5°42'38''	5-10
D – Colinoso	5°42'38'' a 8°31'51''	10-15
E – Forte Ondulado	8°31'51'' a 24°13'40''	15-45
F – Montanhoso	24°13'40'' a 34°59'31''	45-75
G – Escarpado	>34°59'31''	>75

Tabela 2 - Classificação do relevo em função dos níveis de declive.

O autor Lepsch (1991) aborda pontos essenciais para discutir sobre a capacidade do uso do solo que caracterizam o relevo da região da BHRT. As discussões acerca desta metodologia tornam-se importantes sobre a utilização de equipamentos agrícolas mecanizados e conhecer as inferências da suscetibilidade dos solos à erosão, adequando de forma eficiente as PC para cada classe do solo.

### 3.7 Cadastro Rural Ambiental (CAR)

O CAR é um registro público eletrônico nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais. Tem a finalidade de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais, compondo base de

dados para controle, monitoramento, combate ao desmatamento, planejamento ambiental e econômico. A inscrição do imóvel rural no CAR é realizada por meio de sistema eletrônico de forma autônoma pelo proprietário.

Neste trabalho foram utilizados os dados públicos disponíveis abrangendo toda a BHRT com o intuito de analisar a propriedade nos componentes: área do imóvel, APP, reserva legal e a vegetação nativa. Também foi analisado estes dados em conjunto da taxa líquida de erosão/deposição, oriunda da modelagem USPED.

### **3.8 Pagamento por Serviços Ambientais (PSA)**

O PSA é um mecanismo econômico que prevê a remuneração àquele que se dispõe a desenvolver práticas sustentáveis em sua propriedade para permitir condições de fornecimento contínuo de serviços ambientais ao longo do tempo (Oliveira & Reis 2020). Muitos serviços ambientais não dispõem de mercado e, portanto, requerem métodos próprios de estimação do seu valor, monetário ou não monetário dos benefícios imediatos ou futuros gerados por estes serviços (Santos, 2017; Carvalho, 2020).

Existem diversas modalidades de PSA que podem incluir a comercialização de créditos de carbono, o ICMS ecológico, compensação ambiental, reposição florestal, isenção de impostos, concessão de créditos diferenciados, programas de assistência técnica, entre outros (Sousa, 2017; Carneiro & Sousa et al., 2020).

Neste estudo será discutido o método indireto de valoração ambiental: custo de oportunidade, ou seja, é o que se ganha ao não degenerar aquela área. Mensurou-se perdas de renda, por meio de recursos substitutos, aplicando a metodologia abaixo para um recorte da BHRT, uma propriedade oriunda do CAR.

O Programa Produtor de Água da ANA, pioneiro na temática PSA, sugere a metodologia de estimativa do percentual de abatimento de erosão (P.A.E) para auxílio nas escolhas de áreas a serem implementadas e precificadas no Manual Operativo ANA (2008).

$$\text{P. A. E}(\%) = 100(1 - \Phi 1 / \Phi 0) \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

$\Phi 0$  é o fator de risco de erosão proporcionado pelo uso e manejo atual; e

$\Phi 1$  é o fator de risco de erosão proposto.

Por fim, também foi utilizado o custo de oportunidade praticado no PSA “Guardião Dos Igarapés: Programa de Produção e Conservação Das Águas”, de acordo com a Tabela 3, considerando os critérios de cobertura vegetal e PC em relação a área da propriedade para composição dos pagamentos aos produtores rurais.

PSA por Hectare/Ano						
Propriedades de:	I – Cobertura Florestal			II – Agricultura Sustentável/ Pecuária Sustentável		
	A	B	A e B	A	B	A e B
<b>2 ha até 20 ha.</b>	R\$ 300,00	R\$ 150,00	R\$ 450,00	R\$ 150,00	R\$ 50	R\$ 200,00
<b>20 ha até 40 ha</b>	R\$ 200,00	R\$ 100,00	R\$ 300,00	R\$ 100,00	R\$ 50,0	R\$ 150,00
<b>&gt; 40 ha</b>	R\$ 300,00	R\$ 150,00	R\$ 450,00	R\$ 75,00	R\$ 25,00	R\$ 100,00

Tabela 3 – Valores PSA de acordo com Igarapé (2015) – simplificada pela autora

Legenda:

I. Cobertura florestal: A) Implantação e manutenção da cobertura florestal das Áreas de Preservação Permanente; B) Cobertura Florestal acima de 25% da área da propriedade.

II. Agricultura sustentável: A) Adoção de práticas conservacionista de solo, com a finalidade de abatimento da erosão e da sedimentação e uso adequado da água (terraço e barraguinhas); B) Práticas agrícolas sustentáveis (sistema agroflorestal, agricultura orgânica, pastejo rotacionado, irrigação).

Os dados do CAR foram avaliados em relação a quantificação de área exigida pelo Código Florestal de APP sobre a valoração do PSA hectare/ano (Tabela 3).

Com estas análises integradas foram estimados os desenvolvimentos das metodologias na área em relação a implementação das PA inseridas na propriedade do CAR, com a finalidade de fomentar os serviços ambientais e aperfeiçoar o provimento dos SE da propriedade, identificando soluções técnicas e economicamente viáveis para gestão territorial dentro da BHRT.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Uso e cobertura do terreno

O mapa do uso e cobertura do terreno (Fator C do modelo USPED) foi dividido em sete classes (floresta florestal, floresta plantada, pastagem, agricultura e pastagem, infraestrutura urbana, áreas não vegetadas, cursos de água, lavouras temporárias e não classificado) exibidas na Figura 3.

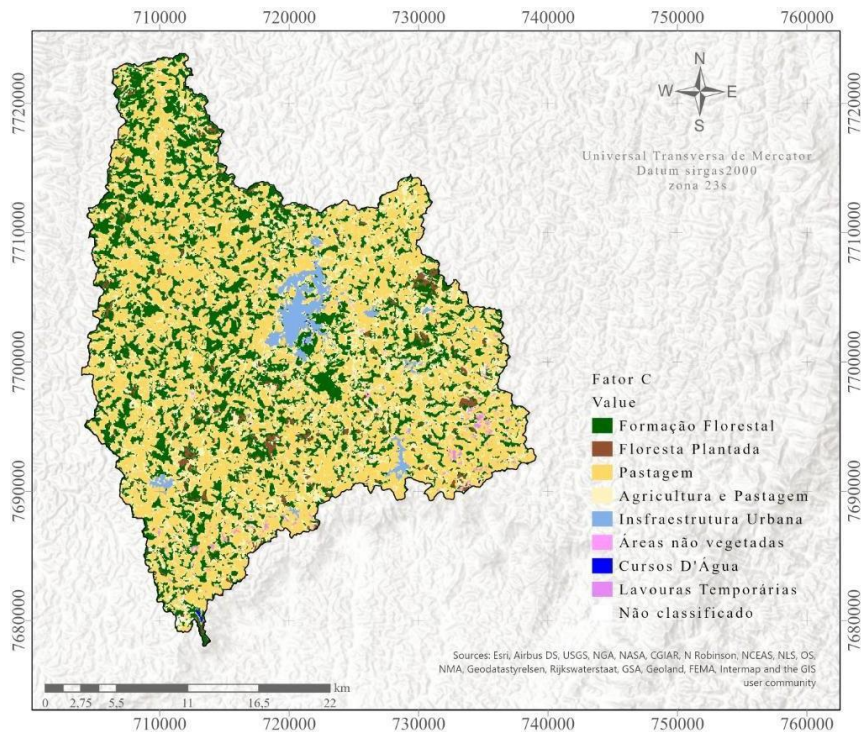


Figura 3 - Mapa do Uso do solo para a BHRT – MG

As classes predominantes na BHRT são Pastagem (407,12 km<sup>2</sup>) juntamente com Agricultura e Pastagem (116,16 Km<sup>2</sup>) e Lavouras temporárias (3,70 Km<sup>2</sup>) correspondem em torno de 68,01% do uso e cobertura do terreno. A formação florestal também apresenta áreas significativas com 231,68 Km<sup>2</sup>, Floresta Plantada (Silvicultura) com 17,90 Km<sup>2</sup> e Área não vegetada com 0,82 Km.

Este resultado pode se apresentar como um indicador para o entendimento da dinâmica ambiental em bacias hidrográficas, e usado como princípio para elaboração de diretrizes, planos de ações e proposta para a ordenação, planejamento e gestão ambiental (Braz et. al, 2017).

## 4.2 Erosão e Deposição do solo

De acordo com a Equação 2 obteve-se o resultado da BHRT condizente com esperado em resposta do algoritmo. Os locais de erosão e deposição mostraram-se de acordo com a Figura 4 (a) e (b), na qual a legenda informa os valores negativos (vermelho) representa a erosão, e os valores positivos (azul) representa a deposição de sedimentos.

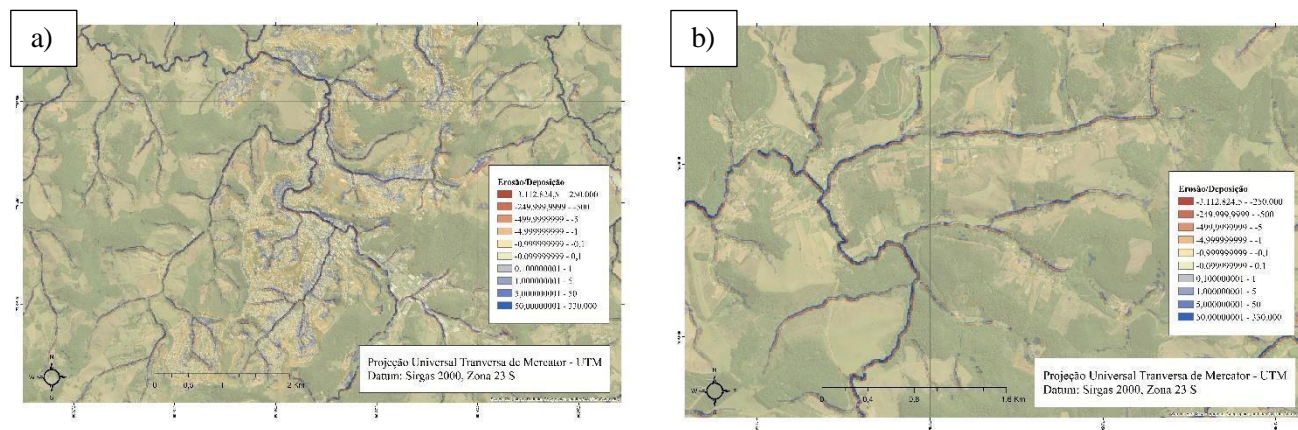


Figura 4 - Erosão e Deposição para os Municípios de Viçosa (a) e Coimbra (b) e pertencentes a BHRT

Devido aos dois municípios (Coimbra e Viçosa) terem ações antropológicas evidenciadas, isto pode agravar o cenário de erosão do solo com o crescimento de área urbana. As transformações nos recursos naturais, por meio da ação humana, acarretam alterações no equilíbrio dinâmico da natureza, que podem se manifestar na forma de processos erosivos (Spörl & Ross, 2004; Burcher et al., 2007; Macedo et al., 2018; Carvalho et al., 2019).

É possível perceber com o uso de imagens de sensoriamento remoto ao fundo das áreas obtidas de erosão e deposição (mapa base vindo do próprio software de análise espacial), que as áreas de desprendimento do solo estão possivelmente em locais mais altos, e a deposição está próximo às margens do rio. A erosão do solo pode ocasionar o assoreamento dos rios e alterações significativas nos ecossistemas, o que evidencia a relevância de estudos sobre a dinâmica e fragilidade das bacias hidrográficas (Zhao et al., 2013; Carvalho et al., 2019).



### 4.3 Áreas de preservação permanente X Uso e cobertura do terreno

As APPs são definidas como área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (Brasil, 2012).

As classes do uso e cobertura do terreno usadas para contrastar com as áreas de APPs foram as pastagem, agricultura e pastagem, floresta plantada (silvicultura), lavoura temporária e área não vegetada (Figura 4). Estas apresentam no uso do solo áreas passíveis de transformação para adequação de leis, comparada a infraestrutura urbana.

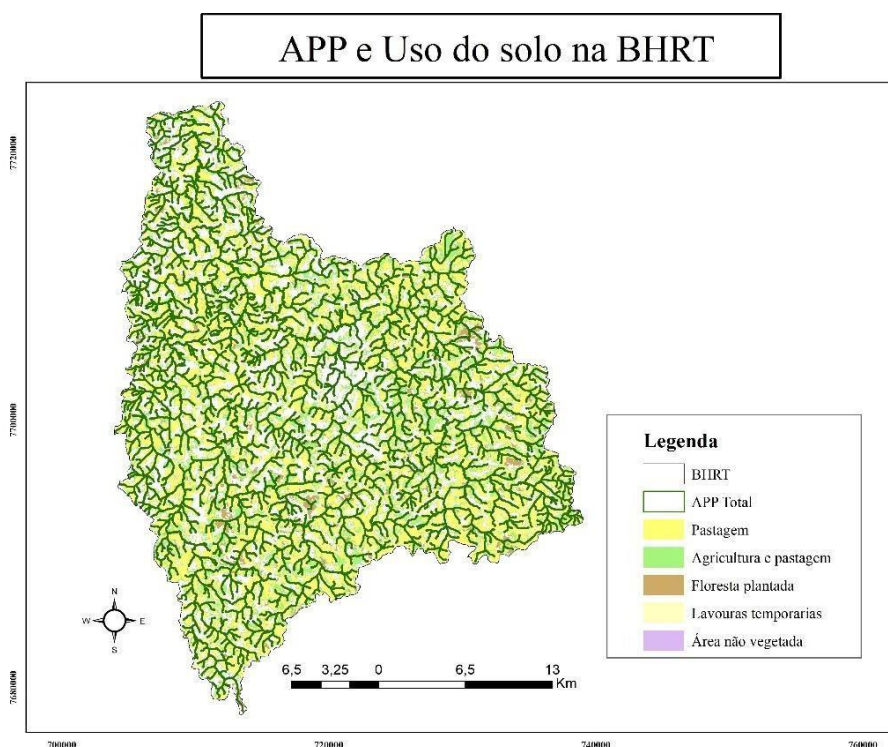


Figura 5 – Áreas de conflito entre APP e Uso e ocupação do terreno na BHRT

A área exigida pelo Código Florestal (Brasil, 2012) para o aumento das margens dos rios é de 101 Km<sup>2</sup> para a BHRT, e deste valor 84,57 Km<sup>2</sup> estão com uso e ocupação do terreno não voltado para preservação. Para a proteção de nascente e declividade acima de 45° esses valores estão em torno de 9,72 Km<sup>2</sup> e 0,08 Km<sup>2</sup> respectivamente, como apresentado na Tabela 4.



	Conflitos (Km <sup>2</sup> )				
	Pastagem	Pastagem e agricultura	Floresta plantada	Lavoura temporária	Área não vegetada
<b>APP</b>	55,98	30,09	0,85	0,54	0,06

Tabela 4 – Conflito de áreas do Uso e cobertura do terreno na BHRT.

Segundo Coutinho (2013) os valores de área e a porcentagem das classes de uso e cobertura do terreno na Bacia do Rio da Prata, no Espírito Santo, também apresentou predominância da classe de uso pastagens (30,63%), seguidas de atividades agrícolas (30,21%), demonstrando o padrão de uso e ocupação desta região de ES e MG, como neste presente estudo. Os autores ainda enfatizam a problemática de margens de rios, que deveriam ser destinadas à preservação, encontram-se ocupadas por agropecuária.

Cenários como estes necessitam de atenção nos cuidados integrados de desenvolvimento sustentável em seus pilares sociais, ambientais e econômicos. Com o intuito de manter a economia para o produtor e garantir qualidade e quantidade dos recursos hídricos.

#### 4.4 Classes de declividade

##### 4.4.1 Classes de declividade e PC

A inclinação do declive do terreno é um dos fatores que influenciam fortemente as perdas de solo e água por erosão hídrica. Na medida que a erosão é maior, o volume e a velocidade da enxurrada aumentam. Conforme a declividade diminui, é melhorada a infiltração de água no solo (Fiorese et al., 2021).

De acordo com a Classificação de Declividade proposta por Lepsch (1991), tem-se em quantitativo de área na Tabela 5 abaixo:

Classes do Relevo	Nível de declive (%)	Área (Km <sup>2</sup> )
A – Plano	<2	42,15
B – Suave Ondulado	2-5	138,64

C – Ondulado	5-10	264,11
D – Colinoso	10-15	218,11
E – Forte Ondulado	15-45	184,44
F – Montanhoso	45-75	0,08
G – Escarpado	>75	0,003

Tabela 5 - Classes de declividade na BHRT

Apresenta-se a área da Classe C, sendo a maior quantitativa da BHRT, um valor de 264,11 Km<sup>2</sup>. Predominam superfícies inclinadas com relevo ondulado, em que o escoamento superficial para a maior parte dos solos é médio ou rápido. Este declive, por si só, normalmente não prejudica o uso de máquinas agrícolas. Para esta classe, como o declive permite o uso de máquinas, pode ser feito um sistema de plantio direto (SPD), onde oferece melhoras nas condições químicas, físicas e biológicas do solo.

O Guia de Recuperação de Solos degradados (TNC & EMBRAPA, 2021) traz um exemplo do Sistema Santa Fé, que consiste em tecnologia que permite o uso intensivo de áreas agrícolas na região de Cerrado com redução nos custos de produção. Os principais objetivos são a produção de forrageira para a entressafra e palhada em quantidade e qualidade necessária para o SPD.

A erosão hídrica, em alguns casos, apresenta problemas moderados, em classes muito inclinadas ou colinosas com o escoamento superficial rápido na maior parte dos solos e podem ser facilmente erodíveis. A BHRT tem em torno de 218 Km<sup>2</sup> com o declive de 10% - 15%, sendo necessário PC de conservação do solo para que terras possam ser cultivadas intensivamente.

Penna (2020) afirma sobre a distribuição de barraginhas que devem estar em áreas de pastagens com a prevalência de enxurradas, evitando assim formação de erosões e, diminuindo enchentes e prevenindo o assoreamento de nascentes e cursos d'água a jusante. Silva (2019) também ressaltaram a importância dos cuidados com proteção das estradas e a canalização das águas por elas, como forma de evitar e/ou diminuir a erosão dos solos.

De acordo com a formação do solo da BHRT ser unicamente latossolo vermelho-amarelo apresenta-se qualidades relacionadas a maior profundidade, mais permeáveis e com textura argilosa a média. Estas propriedades são benéficas do ponto de vista da não erosão comparado aos solos arenosos.

Usualmente, a classe D só deve ser usada para cultivos perenes, pastagens ou reflorestamentos, como ilustrada da Figura 5. Máquinas agrícolas podem ser usadas, mas com restrições, a não ser que os declives sejam muito complexos, como é o caso da classe E (Lepsch, 1991).

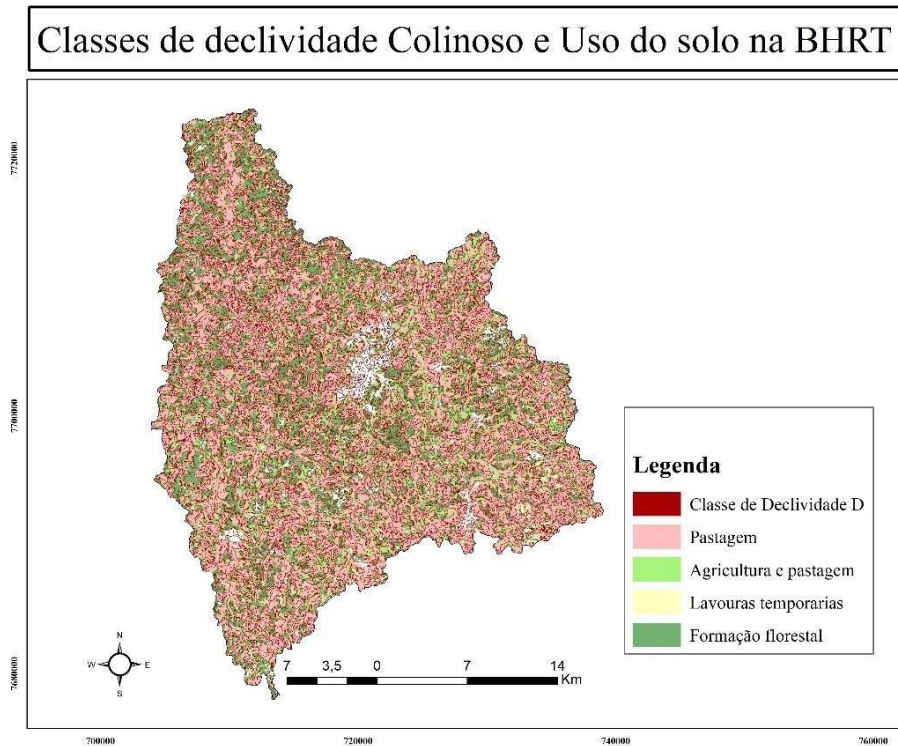


Figura 6 – Classe de declividade D e Uso do Solo na BHRT

A terceira maior área da BHRT com 184,4 Km<sup>2</sup> apresenta declividade entre 15 a 45%, que predomina áreas fortemente inclinadas, tendo um escoamento superficial muito rápido na maior parte dos solos.

A classe B, com declividade entre 2 a 5 %, contém 138,6 Km<sup>2</sup>, compreende-se áreas com declives suaves, nos quais, na maior parte dos solos, o escoamento superficial é lento ou médio. Os declives, por si só, não impedem ou dificultam o trabalho de qualquer tipo de máquina agrícola mais usual.

A erosão hídrica não oferece nenhum problema, segundo os parâmetros estabelecidos por (Lepsch, 1991) com este declive. Para prevenção de problemas no solo PC simples são necessárias, como adubação mineral e orgânica, controle de queimada, calagem (caso necessite de correção o solo), enquanto em solos muito erodíveis e com comprimentos de rampa muito longos, proteções com PC complexas podem ser necessárias, tais como sistema de terraços e faixas de retenção.

Classes com declividade menor que 2%, com 42,1 Km<sup>2</sup> corresponde a áreas planas, onde o escoamento superficial ou enxurrada é muito lento ou lento. O declive do terreno, por isso, não oferece nenhuma dificuldade ao uso de máquinas agrícolas, segundo (Lepsch, 1991) e não existe também erosão hídrica significativa, exceto, possivelmente, em vertentes cujas rampas sejam muito longas ou quando recebam enxurradas de áreas vizinhas situadas à montante e mais declivosas.

As classes que correspondem a valores acima de 45% podem ser consideradas pouco significativas neste trabalho. São áreas íngremes, de regiões montanhosas com o escoamento superficial sempre muito rápido e os solos, extremamente suscetíveis à erosão hídrica.

#### 4.4.2 Classes de Declividade X Uso e cobertura do terreno

Complementar ao declive e manejo do solo, o uso e cobertura do terreno contribui como informações para a alocação das PC. Apresenta-se na Tabela 6 os valores referentes a área em Km<sup>2</sup> do uso do solo em relação à localização das três classes de relevos que tem o maior predomínio na BHRT.

Classes do Relevo	Uso do solo (Km <sup>2</sup> )				
	Pastagem	Pastagem e agricultura	Formação Florestal	Floresta Plantada	Lavoura temporária
C	135,42	48,19	65,71	6,89	0,96
D	101,40	44,86	61,89	4,47	0,52
E	74,48	38,36	38,36	2,86	0,25

Tabela 6- Uso do solo proporcional a cada classe do solo da BHRT

Segundo Flauzino (2016) para uma bacia hidrográfica localizada em Itajubá-MG apontou o uso e ocupação do solo as pastagens que representam a forma de uso predominante na área de estudo, responsáveis por, aproximadamente, 50% da cobertura do solo.

Os autores também apontaram para os malefícios da ausência de práticas de manejo conservacionistas, tais como terraços, cordões de isolamento e rotação de pastejo, que equivale aos períodos de pastejo e descanso alternados entre piquetes durante a estação de pastejo. Soma-se a isso, a adoção de queimadas como prática de limpeza das pastagens, o que pode ser indicativo da falta de preparo

e informação dos agricultores locais. A não conservação pode acarretar em processo erosivo do solo, e também prejudicar a infiltração e a recarga de água na sub-bacia (Avanzi et al., 2011).

De acordo com as condições do local, relevo, tipo de solo, disponibilidade de máquinas e técnica do produtor local poderá ser adaptada às PC. Pode ser utilizada a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) ou Agrossilvipastoril, que se define pela componente agrícola e pecuária em rotação, consórcio ou sucessão, incluindo também o componente florestal, na mesma área.

O Guia de Recuperação de solos do Cerrado (TNC & EMBRAPA, 2021), sugere o Sistema Bacaeri como PC para implementação, no qual o sistema Agrossilvipastoril tem o objetivo de adição/composição de renda, mantendo a pecuária com o destaque. São utilizadas as árvores de teca, que manejada corretamente irá interferir muito pouco na produtividade da pecuária, mas manterá seus SE. Utiliza-se linhas simples espaçadas entre 15 a 22 m, com no mínimo 4 m entre as árvores, mantendo 65 a 100 m<sup>2</sup> por árvore.

O número de árvores na implantação é semelhante ao número de árvores no final do ciclo (corte raso). Após o plantio, a pastagem é vedada e ficará em pousio ou pode-se aproveitar para reformar ou renovar, caso esteja em estágio avançado de degradação. A entrada de animais jovens (até cerca de 220 kg) ocorre entre os 10 a 18 meses após o plantio das árvores, quando a maioria delas estiver com 3 m de altura e 3 a 4 cm de DAP (diâmetro à altura do peito). Na prática, a área ocupada pelas árvores é  $\leq 5\%$ , basicamente a secção do tronco, e o foco são produtos madeireiros de maior valor agregado.

#### **4.5 Análises de uma Propriedade Rural via dados do CAR**

Utilizou-se uma propriedade do CAR no município de Viçosa –MG para investigar seus diferentes cenários quanto ao uso e cobertura do terreno, a presença de APP, a declividade e a modelagem de erosão/deposição. Todos esses conjuntamente pensando na melhor elaboração para determinação das PC in loco na propriedade.

Primeiramente, foi feita a análise visual para o município de Viçosa (Figura 7), e selecionado a propriedade identificada como MG-3171303-7EB1ABC6C8D14BDEB63701A3449BAF97 no sistema CAR, e no ArcGis como FID 199, com uma área de 20,48 ha (Figura 8), sendo 1,13 ha de vegetação nativa, entretanto não consta nenhuma área de APP ao entorno do córrego de água como exigido no Código Florestal (Brasil, 2012).

### FID 199 - Viçosa

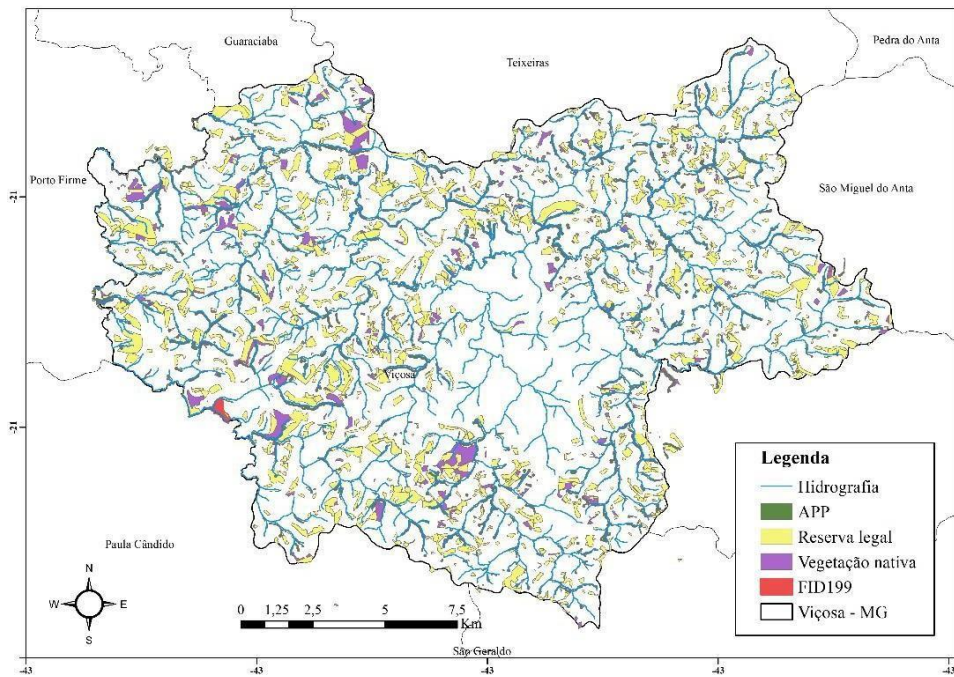


Figura 7 - Dados CAR para o Município de Viçosa – MG.

### FID 199 - Viçosa

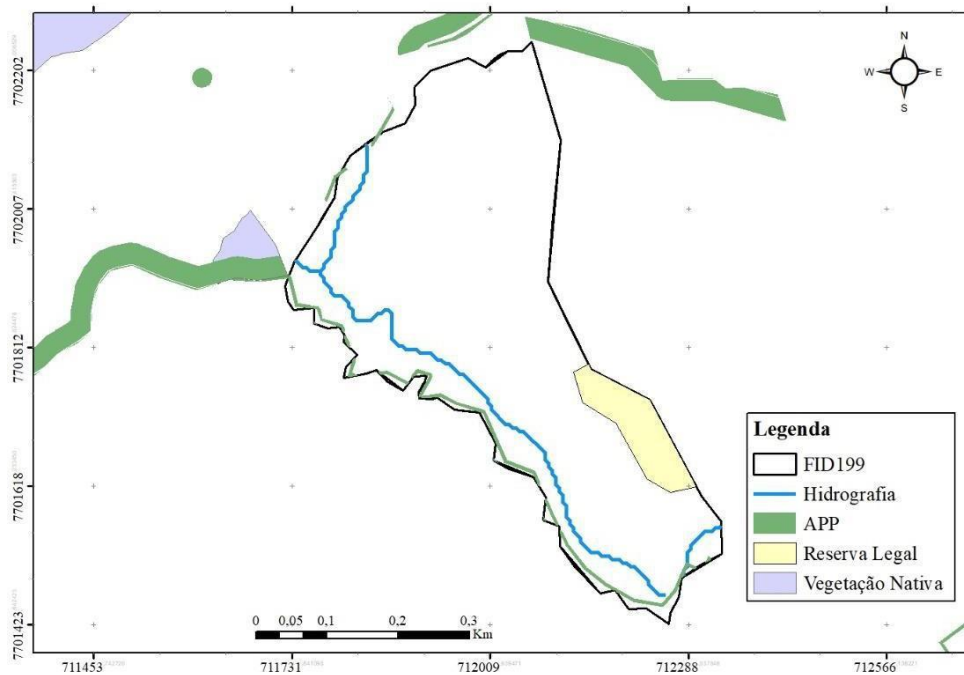


Figura 8 - Propriedade selecionada para estudo no Município de Viçosa – MG.

#### **4.5.1 Áreas de preservação permanente X Uso e cobertura do terreno na propriedade rural de estudo**

A propriedade de estudo no Município de Viçosa – MG tem predominantemente as classes Pastagem e Agricultura e Pastagem para o seu uso e cobertura do solo, como predomina na BHRT. Para enquadrar na Lei Federal n. 12.651/12, a propriedade deveria assumir 30 m nas margens do rio de cobertura florestal (Figura 9), necessitando de uma área de 6,7 hectares a serem restauradas.

No Brasil, estudo sobre os impactos econômicos da erosão apresentado por Polidoro (2019), estima que, tomando-se como referência o ano de 2017, o setor agropecuário ocupou, 10% (81 milhões de ha) com agricultura e 21% (179 milhões de ha) com pastagem no território nacional. Caso esta produção fosse feita como no passado - monoculturas com preparo convencional de solo e sem práticas conservacionistas – estima-se uma perda média 11 t/ha, uma perda anual de solo por erosão hídrica de cerca de 3,1 bilhões de toneladas. Considerando-se que quando uma tonelada de solo é erodida se perde também, além do solo, diversos insumos (adubos, sementes, plantas).

Com isso, fica-se mais evidente a necessidade de aconselhar conforme a aptidão do terreno e com uma análise técnica da propriedade do CAR inserida na BHRT as PC com a finalidade de melhoramento do SE e possível enquadramento nos PSA.

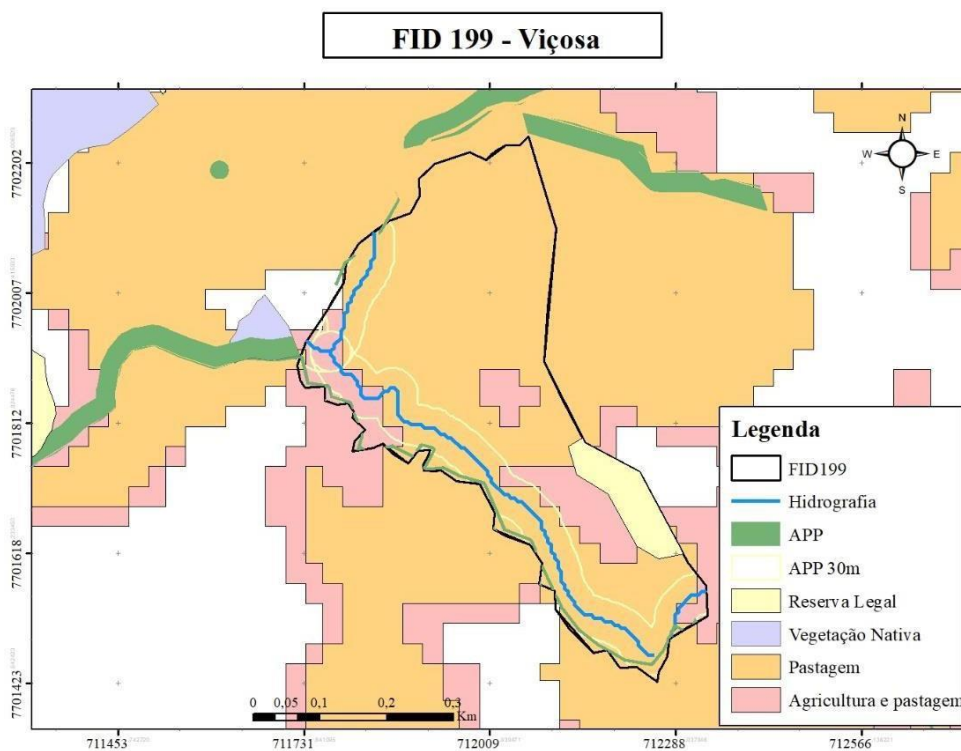


Figura 9 - Uso do solo e APP para a propriedade FID 199

#### 4.5.2 Declividade na propriedade de estudo

A declividade com maior predominância foram solos das classes ondulado, colinoso e forte ondulado, apresentada na Tabela 7 com a área correspondente e na Figura 10 a localização das mesmas, nas siglas D, C e E, respectivamente.

Classes do Relevo	Nível de declive (%)	Área (Km <sup>2</sup> )
A – Plano	<2	0,014
B – Suave Ondulado	2-5	0,027
C – Ondulado	5-10	0,053
D – Colinoso	10-15	0,054
E – Forte Ondulado	15-45	0,056

Tabela 7 – Classes de relevo para a propriedade FID 199



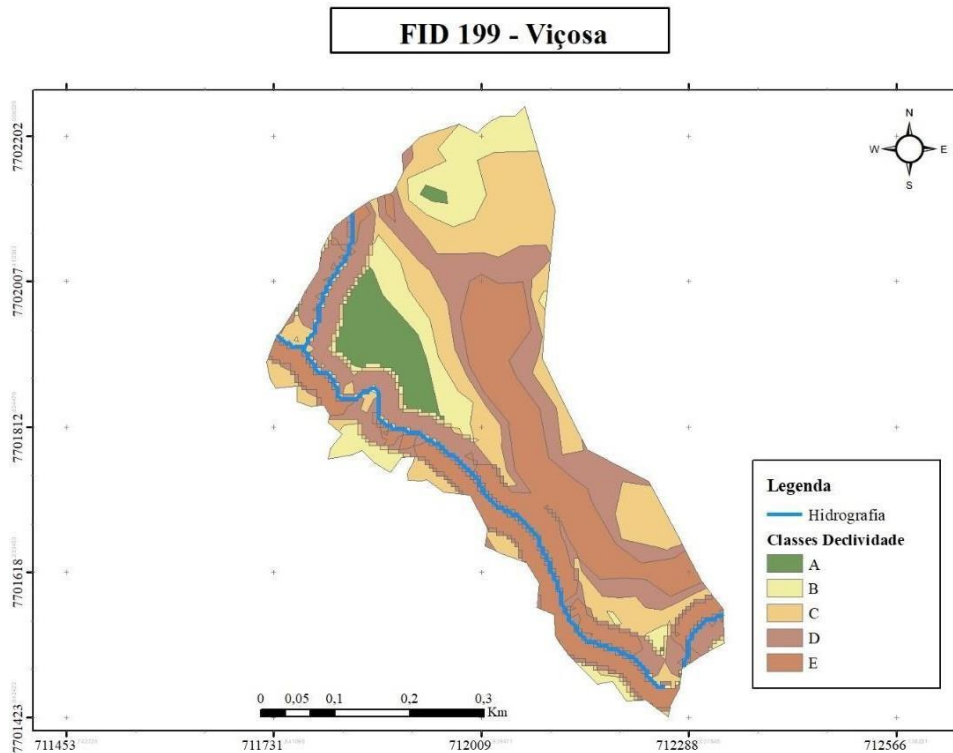


Figura 10 – Classes de declividade para a propriedade FID 199

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2017) afirmaram que ao classificar as terras conforme o sistema de capacidade de uso fundamenta-se na influência do clima, nas características dos solos conforme os riscos de erosão, as limitações de uso, a capacidade produtiva e as necessidades de manejo do solo, agrupando as áreas em classes que demonstram as limitações agrícolas e demais riscos para a sua utilização (Nascimento, 2020).

Estas apresentam algumas restrições nas utilizações de maquinário e PC sugeridas o sistema de PD e ILPF para o melhoramento do uso e cobertura do terreno, a pastagem é predominante, como apresentado na Figura 8. Para a classe Agricultura e Pastagem sugere-se plantio em curva de nível, adubação verde e barragem para o controle e prevenção da erosão do solo.

Na Figura 11 foi aplicada imagem de satélite para uma análise visual da área estudada, apresentando poucas áreas arborizadas, e a presença forte de um pasto descampado, reforçando a necessidade das PC citadas acima para incorporação de matéria orgânica no solo, conseqüentemente para

aumento da fertilidade, menor compactação do solo e diminuição de arraste de sedimentos para o leito do rio presente na propriedade.

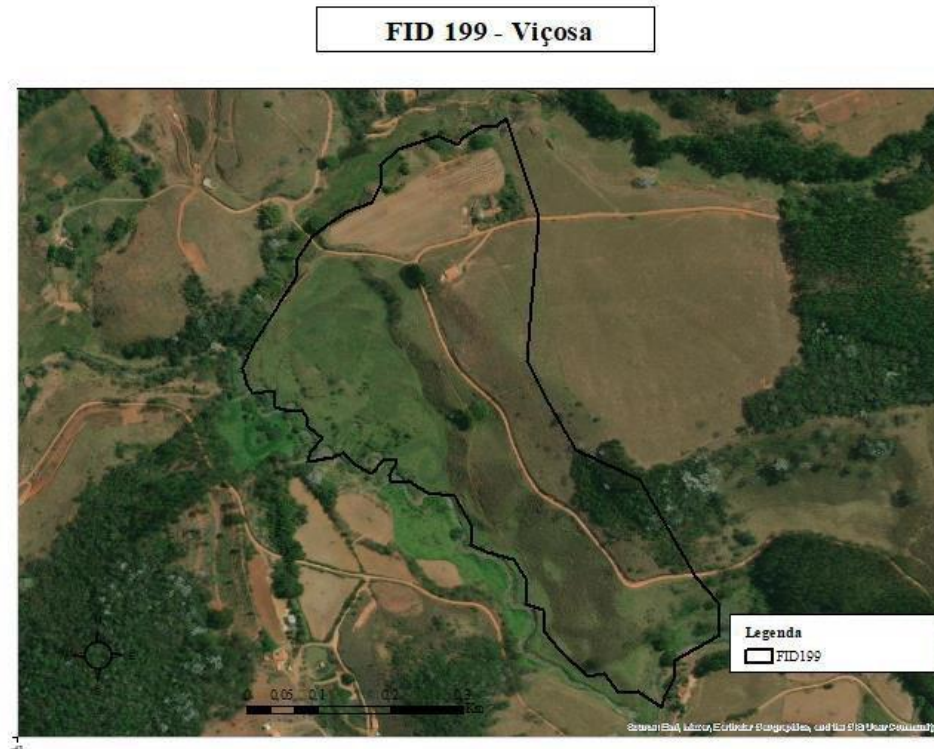


Figura 11 – Imagens de satélite para a área de estudo

O modelo USPED juntamente com o cálculo da Equação 2, ilustra na figura 11 os valores positivos e negativos referente a deposição e a erosão do solo, respectivamente. Como já mencionado anteriormente, a taxa líquida aborda sobre o transporte limitado do solo, onde se o desprendimento do solo exceder a capacidade de transporte de sedimentos do escoamento superficial, o fluxo de sedimentos será igual a capacidade de transporte de sedimentos (HAAN et al., 1994).

Com isso, o solo desprendido por causa do impacto da chuva e pela força de cisalhamento do escoamento superficial é transportado pelo fluxo de água até a sua capacidade de transporte decrescer ao ponto de ocorrer a deposição dos sedimentos, neste caso justamente no leito do rio, confirmando a importância do Código Florestal (2012) sobre a localização necessária de 30m APP ao longo na margem do Rio.

### FID 199 - Viçosa

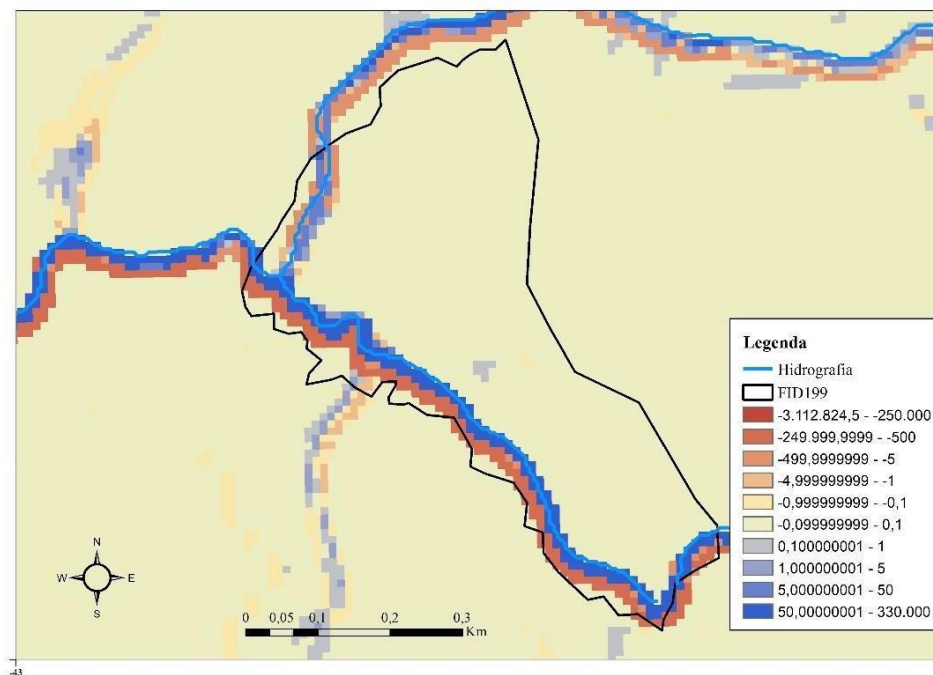


Figura 12 – Taxa Líquida de Erosão/Deposição para a área de estudo

As PC para o controle do escoamento superficial visam a redução do desgaste do solo pelo processo erosivo, como resultado tem-se a redução da poluição dos mananciais por sedimentos ou insumos agrícolas e regularização do regime hídrico da bacia hidrográfica.

Pode-se citar o plantio em nível – consiste em dispor as fileiras das plantas e executar todas as operações de cultivo no sentido transversal ao pendente, em curvas de nível ou linhas em contorno. Além de constituir uma medida de controle da erosão, proporciona maior facilidade e eficiência no estabelecimento de outras práticas complementares, baseadas na orientação em nível, com o menor custo.

Outra PC essencial são as faixas de vegetação permanente – faixas ou cordões de vegetação permanente são fileiras de plantas perenes e de crescimento denso, dispostas com determinado espaçamento horizontal e sempre em nível. Com uma de suas funções de diminuir a velocidade de escoamento da enxurrada, o cordão de vegetação permanente provocará a deposição de sedimentos transportados e facilitará a infiltração da água que escorre no terreno, concorrendo para diminuir a erosão do solo.

Existem também as PC que embasam a melhoria da infiltração da água no perfil do solo, objetivando a diminuição do deflúvio superficial, aumentando a capacidade de armazenamento,

proporcionando um aumento na produtividade vegetal e redução dos riscos durante períodos chuvosos como por exemplo calagem, adubação e/ou gessagem, a depender da necessidade do solo em questão.

#### **4.6 PSA para a BHRT na propriedade de estudo**

Na grande maioria dos editais de PSA feitos no Brasil, sendo eles: Projeto Conexão Mata Atlântica; Fundação Renova; Rede Oasis; Produtores de águas – ES; Produtores de Água e Floresta (PAF) - Comitê Guandu,RJ; Projeto Guardiã dos Igarapés, entre outros, citam a necessidade dos produtores estarem cadastrados ou estarem dispostos ao cadastro para o CAR, evidenciando a importância desse cadastro para análises mais completas da paisagem.

De acordo com o Manual de PSA da ANA, foram utilizados os valores do fator de risco da erosão proporcionado pelo uso e manejo atual ( $\Phi_0$ ) de 0,25 (equivalente a pastagem degradada), e do fator de risco da erosão proposto ( $\Phi_1$ ) de 0,10 (PC integrando pastagem com rotação com grãos). Resultando um cenário comparativo entre o uso atual do solo e após a aplicação de PC no cálculo do PAE com 60% a menos de erosão para a propriedade do CAR em estudo, caso adote medidas conservacionistas na área.

O Manual da ANA (2008) também destaca a lógica de que abatendo-se um percentual da erosão em uma gleba ou propriedade da bacia, a sedimentação referente a essa gleba será reduzida na mesma proporção, ou seja, influenciando em toda a BHRT.

Para um possível aumento de áreas verdes e a melhora da erosão na propriedade precisaria reflorestar 6,7 ha nas margens dos rios (Figura 8). Essa condição também enquadra a propriedade em um possível edital de PSA, como todos os citados acima, validando os SE de regulação (regulação climática, biológica, danos naturais, regulação e purificação da água e polinização) e provisão (alimentos e água). O proprietário teria o auxílio técnico e de suprimentos, como material de cercamento e mudas de plantas nativas para a adequação ao Código Florestal (Brasil, 2012), e teria o ganho financeiro após um ano das medidas terem sido implementadas.

Por fim, aplicando o método de custo de oportunidade, que como mencionado anteriormente não considera o valor do serviço ambiental, leva em conta apenas os fatores de produção econômica a ser realizada na área reservada da propriedade para esta finalidade (Oliveira & Reis 2020), e seguindo a valoração do Projeto Guardiã dos Igarapés – MG (2015). Tem-se de acordo com a Tabela 3 o enquadrando em propriedades maiores de 20 ha até 40 ha, no tópico I – Cobertura Florestal, o

enquadramento no subtópico A e B, pois a cobertura florestal que necessita ser implementada fica acima de 25%, resultando em R\$ 300,00. Para o tópico II – Agricultura sustentável/pecuária sustentável também se enquadraria no subtópico A e B resultando em R\$ 150,00, totalizando um benefício de R\$ 450,00 ha por ano na propriedade, tenho um valor máximo de R\$ 9.000,00 anualmente.

## 5. CONCLUSÕES

Dados aos resultados expostos no presente trabalho, podemos concluir que a em torno de 78% da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo é caracterizada pela classe de relevo Ondulada e Colinosa, entre 5 - 45% de declividade, sendo necessária cautela com o uso de maquinários agrícolas.

O uso e cobertura do terreno de maior predominância são a pastagem seguida de pastagem e agricultura, de acordo com dados do MapBiomias. Na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo tem-se uma área determinada pelo Código Florestal para o aumento da preservação nas margens dos rios de 101 Km<sup>2</sup>, e deste valor 84,57 Km<sup>2</sup> estão com uso e ocupação do terreno que não voltado para preservação. Sendo necessário reforçar as práticas conservacionistas na área como cordão de vegetação, terraço, plantio em curva de nível, rotação de pastejo, sistema agroflorestais, controle de queimadas, adubação verde e orgânica para diminuição do processo erosivo, que causa perda e empobrecimento do solo.

Para a análise secundária da propriedade do cadastro ambiental rural, tem-se características análogas para a Bacia Hidrográfica do Rio Turvo, apresentando um relevo variando de 5 – 45%, com uso e cobertura do terreno predominantemente nas classes pastagem e agricultura e pastagem. A ausência de 6,7 ha de área de preservação permanente evidencia a necessidade de intervenção ao longo da hidrografia presente na área, pois como demonstrado em modelos de erosão e deposição, a taxa líquida de deposição ocorre ao longo do leito do rio, sendo necessária implementação de PC e adequação das normas ambientais.

De acordo com a percentual de abatimento da erosão poderá ser reduzida em até 60% na área com aplicação de práticas conservacionistas como reflorestamento, sistema de plantio direto e implementação da integração lavoura-pecuária-floresta na classe de pastagem no uso e cobertura do terreno. Conseqüentemente essas ações poderá aumentar a infiltração de água no solo e a menor

deposição de sedimento nos rios. Tem-se o aumento da qualidade e quantidade de água na propriedade, influenciando melhorias em toda Bacia Hidrográfica do Rio Turvo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas (Brasil) - ANA. **Manual Operativo do Programa produtor de Água** / Agência Nacional de Águas, Superintendência de Usos Múltiplos. Brasília: ANA, 60 p., 2008.

Agência Nacional de Águas (Brasil) - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: regiões hidrográficas brasileiras – Edição Especial. Brasília: ANA , 163 p., 2015.

Agência Nacional de Águas (Brasil) - ANA. Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce (PIRH Doce). **CBHDoce**, junho de 2021 . Disponível em: [http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2021/07/PP1-Plano-de-Trabalho\\_RevPIRH-Doce-Versao-01-FINAL.pdf](http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2021/07/PP1-Plano-de-Trabalho_RevPIRH-Doce-Versao-01-FINAL.pdf). Acessado em 25/11/2021.

AGUILAR, F.X.; OBENG, E.A.; CAI, Z. Water quality improvements elicit consistent willingness-to-pay for the enhancement of forested watershed ecosystem services. **Ecosyst. Serv.**, v. 30, p. 158-171, 2018.

ARREBEI, N.; SABIR, M.; NAIMI, M.; CHIKHAOUI, M. et al. Assessment of soil erosion with RUSLE 3D and USPED in the Nekor Watershed (Northern Morocco). **Open Journal of Soil Science**, v. 10, n.12, p. 631-642, 2020.

AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; OLIVEIRA, A.H.; SILVA, M.A.; CURI, N.; PEREIRA, P.H. Pilot plan on ground water recharge. In: BILIBIO, C.; HENSEL, O.; SELBACH, J.F. (Organizadores). Sustainable water management in the tropics and subtropics -and case studies in Brazil. 1.ed. Jaguarão/RS: Fundação Universidade Federal do Pampa; Unikassel; PGCult/UFMA, v. 1, p. 207-228, 2011.

BARBOSA, R. A.; RIBEIRO, F. R.; RIBEIRO, F. C. S.; DIAS, H. C. T. Análise ambiental e hidrológica na bacia hidrográfica do Ribeirão São Luís, MG. **Educação Profissional e Tecnológica em Revista**, v. 6, n. 3, p. 183-194, 2020.

BERTONI, J. & NETO, F. L. **Conservação do Solo**. 8ª ed. São Paulo: Ícone, 2012.

BERTONI, J. & NETO, F. L. **Conservação do Solo**. 9ª ed. São Paulo: Ícone, 2014.

BERTONI, J. & NETO, F. L. **Conservação do solo**. 10ª ed. São Paulo: Ícone, 2017.

Brasil. Lei nº 9.393, de 19 de dezembro de 1996. Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural - ITR, sobre pagamento da dívida representada por Títulos da Dívida Agrária e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 p., 1996.

Brasil. Lei nº 11.250, de 27 de dezembro de 2005. Regulamenta o inciso III do § 4º do art. 153 da Constituição Federal. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1 p., 2005.

Brasil. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 38 p., 2012.

BRASIL. Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis nos 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política. Diário Oficial da União, Brasília, DF, v. 1, 10 p., 2021.

BRAZ, A. M.; SOUZA, M. H. B. DE; GARCIA, P. H. M. Manejo e capacidade de uso das terras aplicando geotecnologias na bacia hidrográfica do córrego Lajeado Amarelo – Três Lagoas/MS. **Cerrados**, v. 15, n. 1, p. 237-264, 2017.

BREMER, L.L.; WADA, C.A.; MEDOFF, S.; PAGE, J et al. Contributions of native forest protection to local water supplies in East Maui. **Sci. Total Environ**, v. 688, p. 1422-1432, 2019.

BURCHER, C.L.; VALETT, H.M. & BENFIELD, E.F. The land-cover cascade: relationships coupling land and water. **Ecology**, v. 88, p. 228-242, 2007.

CARNEIRO, J. P. S. & SOUSA, J. S. Pagamento de serviços ambientais: uma análise sobre sua implantação. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 9, n. 18, 2020.

CARVALHO, A. P. P.; GUERRERO, J. V. R.; SILVA, E. V. E.; ROSSO PINTO, M. J.; et al. Fragilidade Ambiental à Erosão em uma Bacia Hidrográfica Antropizada no Nordeste do Estado de São Paulo, Brasil. **Anuario do Instituto de Geociencias**, v. 4, n. 3, 2019.

CARVALHO, Isabel Cristine de. **Estudo de valoração econômica e análise financeira para um programa de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), em Vale do Sol, RS**. 2020. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 160 p., 2020.

CASTELLO BRANCO, Maurício. Ruiz. **Pagamento por serviços ambientais: da teoria à prática**. Rio Claro (RJ): ITPA, 188 p., 2015.

CHEN, W.; WANG, W.; NGUYEN, K. A. Soil Erosion and Deposition in a Taiwanese Watershed Using USPED. **Sustainability**, v. 14, n. 6, p. 3397, 2022.

COELHO, N. R.; GOMES, A. D. S.; CASSANO, C. R.; PRADO, R. B. Panorama das iniciativas de pagamento por serviços ambientais hídricos no Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, n. 3, 2021.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. *In*: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 12<sup>o</sup> ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 93-148, 2015.

COELHO, Arnaldo Teixeira. **Efeitos da vegetação na estabilidade do solo e de taludes**. *In*: **XIII Curso Sobre Erosão E Controle De Sedimentos**, 2005, Minas Gerais - Belo Horizonte.

CONCEIÇÃO, Thiago Silva. **Mapeamento das alterações da paisagem nos imóveis rurais após o rompimento da barragem de Fundão em Mariana – MG**. 2019. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 151 p., 2019.

COUTINHO, L. M.; ZANETTI, S. S.; CECÍLIO, R. A.; GARCIA, G. D. O. et al. Usos da terra e Áreas de Preservação Permanente (APP) na bacia do rio da Prata, Castelo-ES. **Floresta e Ambiente**, v. 20, p. 425-434, 2013.

DOMINGUES, Getulio Fonseca. **Otimização de zonas de vegetação para minimizar a perda de solos em bacias hidrográficas**. 2018. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 41 p., 2018.

DOMINGUES, G.F.; MARCATTI, G.E.; DOS SANTOS, A.G.; LORENZON, A.S. et al. Optimized allocation of forest restoration zones to minimize soil losses in watersheds. **J. Environ. Manag**, v. 271, p. 110923, 2020.

FERREIRA, P.; VAN SOESBERGEN, A.; MULLIGAN, M.; FREITAS, M. et al. Can forests buffer negative impacts of land-use and climate changes on water ecosystem services? The case of a Brazilian megalopolis. **Sci. Total Environ**, v. 685, p. 248-258, 2019.

FIDALGO, E. C. C.; PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; SCHULER, A. E. **Manual para Pagamento por Serviços Ambientais Hídricos: seleção de áreas e monitoramento**. Brasília-DF: Embrapa, 84 p., 2017.

FIGLIARESE, C. H. U.; CARVALHO, J. A.; BATISTA, A. M. S.; BATISTA, J. G. et al. Levantamento Da Perda De Solo Atual Por Erosão Hídrica Do Município De Cachoeiro de Itapemirim (ES). **Cadernos Camilliani**, v. 16, n. 3, p. 1525-1546, 2021.



FLAUZINO, B. K.; MELLONI, E. G. P.; PONS, N. A. D. Mapeamento da capacidade de uso da terra como contribuição ao planejamento de uso do solo em sub-bacia hidrográfica piloto no sul de Minas Gerais. **Geosciences = Geociências**, v. 35, n. 2, p. 277-287, 2016.

Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza (FGBPN), 2011. Project Oasis – Apucarana – Resumo Executivo. Curitiba - Paraná.

Fundação Renova, Edital de adesão de produtores rurais aos programas de restauração florestal, 2021. [https://www.fundacaorenova.org/wpcontent/uploads/2021/11/edital\\_2021\\_programas\\_restauracao\\_florestal\\_permanente.pdf](https://www.fundacaorenova.org/wpcontent/uploads/2021/11/edital_2021_programas_restauracao_florestal_permanente.pdf)

GUEDES, F. B. & SUSAN E. S. Pagamento Por Serviços Ambientais Na Mata Atlântica: Lições Aprendidas e Desafios. 2011. Brasília: MMA. Disponível em: [https://www.mma.gov.br/estruturas/202/\\_arquivos/psa\\_na\\_mata\\_atlantica\\_licoes\\_aprendidas\\_e\\_desafios\\_202.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/202/_arquivos/psa_na_mata_atlantica_licoes_aprendidas_e_desafios_202.pdf).

GIOIA, D.; AMODIO, A.M.; MAGGIO, A.; SABIA, C. Impact of Land Use Changes on the Erosion Processes of a Degraded Rural Landscape: An Analysis Based on High-Resolution DEMs, Historical Images, and Soil Erosion Models. **Land**, v. 10, p. 673, 2021.

GOLDBERG, D. E. & HOLLAND, J. H. Genetic Algorithms and Machine Learning. **Machine Learning**, v. 3, n. 2, p. 95–99, 1988.

GOUDIE, A. **The Changing Earth**: rates of geomorphological processes. Oxford: Blackwell, 1995.

GOUDIE, A. & VILES, H. **Geomorphology in the Anthropocene**. Cambridge, United Kingdom; New York: Cambridge University Press, 2016

GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A.; JORGE, M. C. O.; BEZERRA, J. F. R. Slope Processes, Mass Movements and Soil Erosion: a review. **Pedosphere**, v. 27, p. 27-41, 2017.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 12º. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.149-209, 2013.

HAAN, C. T., BARFIELD, B. J., & HAYES, J. C. Design hydrology and sedimentology for small catchments. **Elsevier**, 1994.

HOLLAND, J. H. Genetic algorithms. **Scientific american**, v. 267, n. 1, p. 66–73, 1992.

HONEK, D.; MICHALKOVÁ, M.Š.; SMETANOVÁ, A.; SOČUVKA, V. et al. Estimating sedimentation rates in small reservoirs-Suitable approaches for local municipalities in central Europe. **J. Environ. Manag**, v. 261, p. 109958, 2020.

Igarapé, 2015. “Guardião Dos Igarapés: Programa de Produção e Conservação Das Águas”. Instrução Normativa SEMA No 01 de 23 de Julho de 2015. **Diário oficial** – Ano I, Nº 353, julho de 2015. Disponível em:

[https://www.igarape.mg.gov.br/abrir\\_arquivo.aspx/Diario\\_Oficial\\_n\\_353\\_2015?cdLocal=2&arquivo={2CC5ABEC-B64C-BE2D-C1AE-ACCCC6BA7DA0}.pdf#search=projeto%20guardi%C3%A3o%20dos%20igarap%C3%A9s](https://www.igarape.mg.gov.br/abrir_arquivo.aspx/Diario_Oficial_n_353_2015?cdLocal=2&arquivo={2CC5ABEC-B64C-BE2D-C1AE-ACCCC6BA7DA0}.pdf#search=projeto%20guardi%C3%A3o%20dos%20igarap%C3%A9s). Acessado em 25/11/2022.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Lauda Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais, 2015.**

Instituto Estadual do Ambiente (RJ) – (INEA-RJ). **Diagnóstico socioambiental e priorização de áreas para a atuação do Projeto Conexão Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro** / Instituto Estadual do Ambiente (RJ). – Rio de Janeiro, 198 p, 2021.

KRISHNASWAMY, J.; BONELL, M.; VENKATESH, B.; PURANDARA, B.K. et al. The groundwater recharge response and hydrologic services of tropical humid forest ecosystems to use and reforestation: Support for the “infiltration-evapotranspiration trade-off hypothesis”. **J. Hydrol**, v. 498, p. 191-209, 2013.

KIRKBY, M.; IRVINE, B.; JONES, R.; GOVERS, G. et al. The PESERA Coarse Scale Erosion Model for Europe. Model Rationale and Implementation. European. **Journal of Soil Science**, v. 59, p. 1293-1306, 2008.

LEH, M.; BAJWA, S.; CHAUBEY, I. Impact of land use change on erosion risk: An integrated remote sensing, geographic information system and modeling methodology. **Land Degrad. Dev.**, v. 24, p. 409–421, 2013.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2º ed, São Paulo, 180 p., 2010.

LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI Jr., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C.R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 2º ed. Campinas, SP: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 175 p., 1991.

LI Q.; Guo-Bin L.; Zheng Z.; Deng-Feng T. et al. Relative contribution of root physical enlacing and biochemical exudates to soil erosion resistance in the Loess soil, **Catena**, v. 153, p. 61-65, 2017.

LIU, J.; SLEETER, B.; SELMANTS, P.C.; DIAO, J.; et al. Modeling watershed carbon dynamics as affected by land cover change and soil erosion. **Ecol. Model.**, v. 459, p. 109724, 2021.

MACEDO, D.R.; HUGHES, R.M.; KAUFMANN, P.R.; CALLISTO, M. Development and validation of an environmental fragility index (EFI) for the neotropical savannah biome. **Science of the Total Environment**, v. 635, p. 1267 – 1279, 2018.

MapBiomias - Coleção Mapbiomas (2021) – Coleção 6. Disponível em:  
[https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama\\_set\\_language=pt-BR](https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR). Acesso em 20/05/2021.

MITAS, L. & MITASOVA, H. Distributed soil erosion simulation for effective erosion prevention. **Water Resources Research**, v. 34, n. 3, p. 505–516, 1998.

MITASOVA, H.; HOFIERKA, J.; ZLOCHA, M.; IVERSON, L.R. Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. **International Journal Geographical Information System**, v. 10, n. 5, p. 629-641, 1996.

MITASOVA, H. & Mitas, L. Modeling Soil Detachment with RUSLE 3D Using GIS. University of Illinois at Urbana-Champaign, 1999.

MITASOVA, H. & Mitas, L. Erosion/Deposition Modeling with USPED Using GIS. University of Illinois at Urbana-Champaign, Champaign, Urbana, 1999b.

MONTANARELLA, L.; JON PENNOCK D.; MCKENZIE N.; BADRAOUI M.; et al. World's soils are under threat. **Soil**, v. 2, n. 1, p. 79-82, 2016.

MOORE, I.D. & WILSON, J.P. Length-slope factors for Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 47, n. 5, p. 423-428, 1992.

MORGAN, R. P. C. **Soil Erosion and Conservation**. 3º ed. England: Blackwell, 2005.

NAEEM, S.; INGRAM, J.C.; VARGA, A.; AGARDY, T. et al. Get the science right when paying for nature's services: Few projects adequately address design and evaluation. **Science**, v. 347, p. 1206-1207, 2015.

NASCIMENTO, J. J. de S. **Análise da capacidade de uso da terra na bacia hidrográfica do Riacho Chafariz com auxílio de geotecnologias**. 2020. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, p.65, 2020.

OLIVEIRA, A. F. J. & REIS, Y. T. M. Comparação entre o Método de Valoração de Contingente e o Custo de Oportunidade para Pagamento aos Produtores Rurais do Programa Conservador das Águas, Igarapé, Minas Gerais. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 9, n. 1, p. 138-161, 2020.

OLIVEIRA, A. H.; NETO, G. K.; PEREIRA, S. Y. Aplicação do modelo USPED em sub-bacia da planície aluvionar do Rio Mogi Guaçu. In: **XIII Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas**. Rio de Janeiro, 2016.

PENNA, L. F. R.; DE ASSIS, F. J. B., AMORIM, D. D., DOS SANTOS, J. S., et al. Produção de água com a aplicação de práticas mecânicas e vegetativas de conservação do solo e água em área de pastagem degradada. **Research, Society and Development**, v. 9, p.7, 2020.

PERIOTTO, N.A. & TUNDISI, J.G. A characterization of ecosystem services, drivers and values of two watersheds in São Paulo state, Brazil. **Braz. J. Biol.**, v. 78, n. 3, p. 397-407, 2018.

POESEN, J. Soil erosion in the Anthropocene: Research needs. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 43, p. 64–84, 2018.

POLIDORO, J. C.; DE FREITAS, P. L.; HERNANI, L. C.; DOS ANJOS, L. H. C., et al. The impact of plans, policies, practices and technologies based on the principles of conservation agriculture in the control of soil erosion in Brazil. In: **FAO - Proceedings of the Global Symposium on Soil Erosion**, p. 553-558, 2019.

PRASAD, B. & TIWARI, H. L. Um estudo comparativo de modelos de erosão do solo baseados em SIG e sensoriamento remoto. **ISH Journal of Hydraulic Engineering**, p. 1-5, 2020.

Receita Federal – Valor de Terra Nua (2022) – Disponível em: <https://www.gov.br/receitafederal/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/documentos-tecnicos/vtn/valores-terra-nua-2022.pdf/view>. Acesso em 15 de novembro de 2022.

RENARD, K., FOSTER, G., WEESIES, G., MCCOOL, D. et al. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Department of Agriculture, Washington DC, 1997.

SALES, E. S. G.; ALCÂNTARA, F. T. A.; ARAÚJO, F. S.; DORNELAS, C. S. M. et al. Influência de práticas conservacionistas na recuperação de áreas degradadas no semiárido. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 9298–9316, 2021.

SANTOS, DEVANIR GARCIA. Representante ANA, *In: Mini-curso PSA - Rede Brasil de Organismos de Bacias Hidrográficas*. Florianópolis, Santa Catarina, 2017.

SANTOS, F. L. D. & SILVANO, R. A.M. Aplicabilidade, potencial e desafios dos Pagamentos por Serviços Ambientais para conservação da água no sul do Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 38, p. 481-498, 2016.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5° ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, R. C. & GUERRA, A. J. T. Avaliação da erosão dos solos na bacia hidrográfica do rio Pequeno, Paraty-RJ. **Geosaberes**, v. 12, n. 1, p. 23-43, 2021.

SCHMITT, A. & MOREIRA, C. R. Manejo e gestão de bacia hidrográfica utilizando o software gratuito Quantum-GIS. **Revista Cultivando o saber**, p. 125-137, 2015.

SCRUCCA, L. GA: A Package for Genetic Algorithms in R. **Journal of Statistical Software**, v. 53, n. 4, p. 1–37, 2013.

SILVA, B. A.; GIONGO, P. R.; BARBOSA, T. A.; MORAES, V. H. et al. Characterization and Analysis of Gullies in the Sub-basin of Ribeirão Serra in Morrinhos, Goiás, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, p. 70-80, 2019.

SILVA NETO, V. L.; BATISTA, E. D.; LEAL JUNIOR, W. B.; FABRIS, Z. V. et al. Distribuição espacial da erosividade das chuvas na bacia do rio Manuel Alves da Natividade, Tocantins. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 148-162, 2022.

SIMEDO, M. B. L.; PISSARRA, T. C. T.; MARTINS, A. L. M.; LOPES, M. C. et al. The Assessment of Hydrological Availability and the Payment for Ecosystem Services: A Pilot Study in a Brazilian Headwater Catchment. **Water**, v. 12, n. 10, 2020.

SKAGEN, S.K.; BURRIS, L.E.; GRANFORS, D.A. Sediment Accumulation in Prairie Wetlands under a Changing Climate: The Relative Roles of Landscape and Precipitation. **Wetlands**, v. 36, p. 383–395, 2016.

SOUSA, Joyce Silvestre de. **Vegetação e recursos hídricos na bacia do Rio Claro – Minas Gerais: diagnóstico e instrumentos para gestão**. 2017. Tese (Doutorado em recursos hídricos e sistemas agrícolas) - Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 239p., 2017.

SOUSA, F. R. C.; PAULA, D. P. Análise de perda do solo por erosão na bacia hidrográfica do rio Coreaú (Ceará-Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 3, 2019.

SPÖRL, C. & ROSS, J.L. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. GEOUSP - **Espaço e Tempo**, v.15, p. 39-49, 2004

The Nature Conservancy & Empresa Brasileira de Agricultura e Pecuária, 2021 . Guia Resuperação de solos degradados no Cerrado: Alternativas para a produção sustentável. ISBN: 978-85-60797-33-2

TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M. Potencial impacts of changes in the Forest Law in relation to water resources. **Biota Neotrop**, v. 10, p. 67–75, 2010.

ZHAO, G.; MU, X.; WEN, Z.; WANG, F. et al. Soil erosion, conservation and Eco-environment changes in the Loess Plateau of China. **Land Degradation & Development**, v. 24, n.5, p.499-510, 2013.

ZONTA, J. H.; SOFIATTI, V.; COSTA, A. G. F.; SILVA, O. R. R. F.; et al. **Práticas de conservação do solo e da água**. Campina Grande, PB: Embrapa, 24 p., 2012.

VILAR, M. B., BARBOSA, V. H. B., BRAGA, C. S., DIAS, H. C. T. et al. **Caracterização de nascentes pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, MG. In: Seminário de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Paraíba do Sul: recuperação de áreas degradadas**, v. 2, p. 181-188, 2009.

WILLIAMS, J. Sediment Routing for Agricultural Watersheds. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 11, p. 965-974, 1975.

WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transaction American Geophysical Union**, v. 39, n. 2, p. 285–291, 1958.

WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. Predicting Rainfall-Erosion Losses From Cropland east of the Rocky Mountains: Guide for Selection of Practices for Soil and Water Conservation. Washington DC, Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, 1965.

WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses. Agriculture handbook. USDA, Agricultural Research Services, v. 537, p. 285-291, 1978.

YOUNG, C.J.; LIU, S.; SCHUMACHER, J.A.; SCHUMACHER, T.E. et al. Evaluation of a model framework to estimate soil and soil organic carbon redistribution by water and tillage using <sup>137</sup>Cs in two U.S. Midwest agricultural fields. **Geoderma**, v. 232, p. 437–448, 2014.

YOUNG, C. E. F. & BAKKER, L. B.. Payments for ecosystem services from watershed protection: A methodological assessment of the Oasis Project in Brazil. **Natureza & Conservação**, v. 12, n.1, p.71-78, 2014.