

**INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**
GOIANO
Campus Rio Verde - GO

ENGENHARIA AMBIENTAL

GUILHERME BARROS SOUZA

**AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO USO DO SOLO E DAS APPs
NA BACIA DO RIO SÃO TOMÁS E SEUS EFEITOS SOB A EROSÃO**

RIO VERDE – GO

2024

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CÂMPUS RIO VERDE – GO**

ENGENHARIA AMBIENTAL

GUILHERME BARROS SOUZA

**AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO USO DO SOLO E DAS APPs
NA BACIA DO RIO SÃO TOMÁS E SEUS EFEITOS SOB A EROSÃO**

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde – GO como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Peres Angelini

Rio Verde – GO
Setembro, 2024

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

S729a Souza, Guilherme Barros
Avaliação espaço-temporal do uso do solo e das APPs na Bacia do Rio São Tomás e seus efeitos sob a erosão / Guilherme Barros Souza ; orientador Lucas Peres Angelini. -- Rio Verde, 2024.
50 f.

TCC (Engenharia Ambiental) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2024.

1. Eventos hidrológicos. 2. Erosão hídrica. 3. Uso e ocupação da terra. 4. Bacia Hidrográfica. I. Angelini, Lucas Peres, orient. II. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica (assinale com X)

- Tese
- Dissertação
- Monografia – Especialização
- Artigo - Especialização
- TCC - Graduação
- Artigo Científico
- Capítulo de Livro
- Livro
- Trabalho Apresentado em Evento
- Produção técnica. Qual: _____

Nome Completo do Autor: Guilherme Barros Souza

Matrícula: 2019102200740220

Título do Trabalho: *AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO USO DO SOLO E DAS APPs NA BACIA DO RIO SÃO TOMÁS E SEUS EFEITOS SOB A EROSÃO*

Restrições de Acesso ao Documento [Preenchimento obrigatório]

Documento confidencial: Não Sim, justifique: Trabalho será publicado em forma de artigo científico.

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 02 / 09 /2025

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

1. O documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
2. Obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
3. Cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, 10 de setembro de 2024

Guilherme Barros Souza

Assinado eletronicamente pelo o Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Lucas Peres Angelini

Assinatura eletrônica do(a) orientador(a)

Documento assinado eletronicamente por:

- Guilherme Barros Souza, 2019102200740220 - Discente, em 10/09/2024 15:31:06.
- Lucas Peres Angelini, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/09/2024 15:19:42.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 02/09/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 629018
Código de Autenticação: d06d105605



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 7/2024 - CCBEAMB-RV/GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

No dia 02 de Setembro de 2024, às 14 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Lucas Peres Angelini (orientador), Raysa Moraes Castro (membro), Laíne Garcia Ferreira (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado "AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO USO DO SOLO E DAS APPs NA BACIA DO RIO SÃO TOMÁS E SEUS EFEITOS SOB A EROSÃO" do estudante **Guilherme Barros Souza**, Matrícula nº 2019102200740220 do Curso de Engenharia Ambiental do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do Trabalho de Curso. Após a apresentação do estudante houve arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora reuniu-se e decidiu pela APROVAÇÃO do estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Lucas Peres Angelini

Orientador

(Assinado Eletronicamente)

Raysa Moraes Castro

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Laíne Garcia Ferreira

Membro

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- Raysa Moraes Castro, 2022102320140012 - Discente, em 03/09/2024 09:39:20.
- Laíne Garcia Ferreira, 2022202320140003 - Discente, em 02/09/2024 15:23:23.
- Lucas Peres Angelini, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 02/09/2024 15:21:25.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 02/09/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 629013

Código de Autenticação: 087ef908fb



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000

RESUMO

SOUZA, Guilherme Barros. **Avaliação espaço-temporal do uso do solo e das APPs na Bacia do Rio São Tomás e seus efeitos sob a erosão**, 2024. 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2024.

O cenário mundial nos últimos anos tem demonstrado preocupação voltado as questões hídricas, eventos hidrológicos estão se tornando cada vez mais aparentes e recorrentes. A expansão da agricultura e pecuária extensiva é caracterizada pela remoção de cobertura vegetal do solo, tal prática é favorável ao aumento da perda do mesmo. De maneira a analisar como as mudanças na ocupação da terra interferem nos processos de erosão hídrica do solo, estudou-se a Bacia Hidrográfica do Rio São Tomás, localizado no sudoeste do estado de Goiás, no período de 1985 a 2022. Este estudo teve por objetivo avaliar espaço-temporalmente as mudanças no uso da terra nesta bacia e demonstrar seus efeitos sob a erosão hídrica, ao mesmo tempo em que é avaliado sua influência sobre as APPs. Foi analisado dados de ocupação da terra para os anos 1985, 2000 e 2022, referente a suscetibilidade erosiva foi-se utilizado a metodologia de Wischmeier e Smith. Relativo aos resultados, obteve-se crescimento na atividade agropecuária, sendo um grande influente na questão do desenvolvimento erosivo, no entanto para as APPs a vegetação demonstrou crescimento nas áreas delimitadas. Ao final concluiu-se que apesar de o relevo ter uma grande influência no processo de perda de solo, as mudanças na cobertura da terra também se demonstraram influentes, sendo responsáveis pelo suscetível aumento nos processos erosivos na bacia, o que afeta diretamente os cursos d'água de maneira negativa, cabendo a importância no manejo adequado do solo e a preservação da mata ciliar como alternativas no controle da erosão.

Palavras –chave: Eventos hidrológicos, erosão hídrica, uso e ocupação da terra, Bacia Hidrográfica.

Índice de figuras

Figura 1: Esquema do ciclo hidrológico.....	14
Figura 2: Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio São Tomás.....	19
Figura 3: Tabulação cruzada.	21
Figura 4: Evolução espaço-temporal e distribuição das classes de uso e cobertura da terra.	27
Figura 5: Resultado em porcentagem proveniente dos ganhos, perdas e permanência de cada atividade para os anos de 1985 e 2000	30
Figura 6: Resultado em porcentagem proveniente dos ganhos, perdas e permanência de cada atividade para os anos de 2000 e 2022.	32
Figura 7: Mapa da precipitação média, desenvolvido a partir dos dados das estações pluviométricas disponibilizados pela ANA.	33
Figura 8: Mapa comparativo dos tipos de solos e o fator K reclassificado de acordo com a metodologia de Franciscisco (2021).	34
Figura 9: Mapa comparativo entre a declividade e o fator topográfico (LS).	35
Figura 10: Mapa de suscetibilidade erosiva do solo para a bacia hidrográfica do Rio São Tomás, reclassificado de acordo com a FAO (1980).	37
Figura 11: Área em porcentagem de perda de solo.	38
Figura 12: Representação das áreas de preservação permanente mapeadas no interior da bacia.	43
Figura 13: Comparativo entre o uso da terra e as faixas de proteção dos cursos hídricos.	45

Índice de tabelas

Tabela 1: Estações pluviométricas utilizadas para o cálculo da erosividade da chuva.	23
Tabela 2: Valores para o fator K obtidos na literatura.	24
Tabela 3: Valores do fator CP obtidos na literatura.....	25
Tabela 4: Áreas de abrangência do uso e ocupação do solo da bacia do Rio São Tomás.	27
Tabela 5: Tabulação cruzada para conversão uso da terra em hectares (ha) de 1985 a 2000. 1 (Vegetação); 2 (Sivilcultura); 4 (Agropecuária); 5 (Área não vegetada); 6 (Corpo d'água).....	29
Tabela 6: Tabulação cruzada para conversão uso da terra em hectares (ha) de 2000 a 2022. 1 (Vegetação); 2 (Sivilcultura); 4 (Agropecuária); 5 (Área não vegetada); 6 (Corpo d'água).....	31
Tabela 7: Apresentação em quantidade de perda de solo relacionado à área total da Bacia do Rio São Tomás. ..	37
Tabela 8: Representação do cruzamento de dados entre as classes erosivas e o uso da terra.	40
Tabela 9: Áreas de Preservação Permanente em Relação ao Uso da terra para os anos de 1985, 2000 e 2022. ..	44

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	8
2.	OBJETIVO	9
2.1.	Geral	9
2.2.	Específico	9
3.	REVISÃO DE LITERATURA	10
3.1.	Recursos Hídricos	10
3.2.	Bacia Hidrográfica	12
3.3.	Ciclo hidrológico	13
3.4.	Erosão do solo	14
3.5.	Manejo das bacias hidrográficas	16
3.6.	Áreas de Preservação Permanente	16
3.7.	Uso de ferramentas de geoprocessamento no manejo das bacias hidrográficas	17
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	18
4.1.	Área de estudo	18
4.2.	Confecção de mapas	20
4.3.	Mudança no uso e cobertura da terra	20
4.4.	Erosão do solo	22
4.4.1.	Fator erosividade da chuva (R)	22
4.4.2.	Fator erodibilidade do solo (K)	23
4.4.3.	Fator topográfico (LS)	24
4.4.4.	Fator CP	25
4.5.	Áreas de Preservação Permanente	25
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1.	Uso da terra e suas mudanças	26
5.2.	Resultado do fator R	32
5.3.	Resultado do fator K	33
5.4.	Resultado do fator LS	35
5.5.	Erosão do solo	36
5.6.	Relação uso da terra x Erosão	39
5.7.	Estudo das Áreas de Preservação Permanente	43
6.	CONCLUSÃO	46
7.	REFERÊNCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

Diante do atual panorama global referente ao crescimento e desenvolvimento tecnológico e populacional, a busca por matéria proveniente do meio natural para suprir a demanda exigida tem crescido também de maneira gradual, acompanhando a globalização. Dentre os recursos explorados a água tem ganhado destaque, nota-se em todo mundo uma preocupação geral com a crise hídrica que atinge diversos países, o uso exagerado e sem necessidade deste recurso associado ao crescimento populacional, comercial e industrial observado ao longo dos anos, contribui na redução da disponibilidade hídrica, além disso a supressão vegetal, construções, impermeabilização do solo, são exemplos de ações antrópicas que trazem consigo problemas ao meio ambiente de maneira geral e principalmente a água (ALMEIDA e NOGUEIRA, 2023).

Quando se é discutido a respeito de disponibilidade hídrica, há um pensamento equivocado de se estar referindo apenas a aspectos quantitativos, no entanto o aspecto qualitativo também deve ser levado em consideração, visto que com o maior número de indústrias e pessoas coexistindo nos países, há uma maior quantidade de efluentes industriais e domésticos sendo gerados, que em muitos casos são descartados de maneira irregular nos corpos hídricos, sem nenhuma forma de tratamento anterior, ou sem atender a norma vigente de padrões de lançamento, conseqüentemente diminuindo a qualidade da água daquela região impossibilitando diversos outros usos que poderiam ser realizados a jusante daquele lançamento (ALMEIDA e NOGUEIRA, 2023; GUERRA *et al.*, 1995).

O processo erosivo se enquadra como um exemplo que afeta diretamente a qualidade da água nos rios, o aumento das partículas de solo leva a chamada turbidez da água e sua deposição ao fundo dos cursos d'água gera assoreamento que interfere na vazão disponível do rio onde este fenômeno ocorre. Solos sem a presença de cobertura vegetal nativa estão mais suscetíveis aos processos erosivos em comparação a zonas com presença de cobertura (ALMEIDA *et al.*, 2016), o que se observa ao longo do tempo são diversas mudanças ocorridas no uso e ocupação do solo em um curto período de tempo, principalmente envolvendo áreas verdes cedendo espaço para atividades humanas econômicas, como as pastagens, indústrias e agricultura, o que acarreta em um alto potencial para perda de solo (CATEN *et al.*, 2012).

Outro ponto bastante discutido desde 1970 são as mudanças climáticas, acoplados aos fenômenos El Niño e La Niña conhecidos como Fenômenos de Oscilação Sul (ENOS), com ocorrência de dois a sete anos, sendo o primeiro referente ao aquecimento do oceano Pacífico

Equatorial e o segundo ligado a condição mais fria do Oceano Pacífico Equatorial em comparação à média histórica, alterando os campos de pressão e circulação atmosférica. Estes fenômenos afetam de modo significativo a temperatura e a precipitação em todo globo terrestre, no Brasil durante o El niño a região nordeste enfrenta secas severas enquanto a região sul apresenta maiores volumes de precipitação, já a La Niña provoca o efeito contrário sob estas regiões. Chuvas com alta intensidade elevam a probabilidade de ocorrência de eventos hidrológicos máximos como alagamentos, enchentes e rompimento de taludes, com efeitos negativos não só ao meio ambiente, como também aos seres humanos (CPTEC, 2024; AMADO, 2002).

Diante do que foi exposto anteriormente estudos sobre as principais características de uma bacia hidrográfica, uso e ocupação da terra dentro da mesma, pontos de fragilidade ambiental, declividade, tipo de solo, enfim estudos de manejo de bacias hidrográficas, que interligam a avaliação do meio físico da bacia com as principais atividades antrópicas desempenhadas no local, são de grande relevância para o gerenciamento dos recursos hídricos, podendo ser utilizadas como ferramenta para obtenção de dados e melhorias na preservação ambiental do local. Como os materiais utilizados para realização das análises gerais de uma bacia hidrográfica são relativamente simples e baratos o mesmo é capaz de gerar informações de maneira rápida e com um baixo custo.

2. OBJETIVO

2.1. Geral

O presente trabalho possui como objetivo principal avaliar espaço-temporalmente as mudanças ocorridas no uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Rio São Tomás e sua ligação com a suscetibilidade erosiva do local e como afeta as Áreas de Preservação Permanente (APPs).

2.2. Específico

- Utilizar técnicas de geoprocessamento para obtenção das áreas suscetíveis a erosão;
- Definir os principais usos e ocupações do solo na bacia em estudo;
- Delimitar as Áreas de Preservação Permanente através do Código Florestal, Lei Federal n° 12.651/2012;
- Relacionar os principais usos da bacia com as áreas suscetíveis a erosão;
- Relacionar os principais usos da bacia com as Áreas de Preservação Permanente.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Recursos Hídricos

A água é um recurso vital na manutenção da vida no planeta Terra, sua utilização envolve desde a manutenção dos ecossistemas até sua importância na economia e no âmbito social dos seres humanos (LIMA, 2001). No cenário mundial estima-se que apenas 2,5% da água é considerada doce e favorável ao consumo humano, entretanto destes 2,5% a maior parte (69%) é de difícil acesso, geralmente concentrada em geleiras, 30% são representadas pela água subterrânea e 1% concentrada nos rios e córregos (ANA, 2024). Diante destas informações cabe o pensamento: “Todo recurso hídrico é água, mas nem toda água é um recurso hídrico”, recursos hídricos são as águas de fácil acesso que estão disponíveis para uso humano, águas de geleiras não são consideradas recursos hídricos, pois não haverá consumo consuntivo ou não consuntivo, enquanto as águas de rios e lagos são consideradas recursos (EMBRAPA, 2024; ANA 2024).

Este recurso quando observado na esfera mundial demonstram diversas problemáticas ligadas principalmente a sua disponibilidade, conhecida como crise hídrica. Estima-se segundo a Unicef (Fundo das Nações Unidas para Infância) que menos da metade da população mundial possui acesso a água potável, ao mesmo tempo em que o consumo total de água é direcionado em sua maioria (75%) a atividade de irrigação, seguido pela área industrial (21%) e por fim o uso doméstico (6%), ao passo que há o desenvolvimento econômico em diversos setores integrados na sociedade mundial, cresce de maneira proporcional a necessidade na utilização deste recurso para atender as demandas exigidas, como exemplo uma economia voltada ao processamento de grãos necessitam de mil toneladas de água na produção de uma tonelada de grãos, ao mesmo tempo em que o crescimento populacional e a industrialização aumenta a demanda, com o aumento da produção aumenta-se o consumo de água (CESTESB, 2024).

Estes fatores aliados as questões climáticas e outros agentes naturais influentes sobre os recursos hídricos contribuem para a acelerada redução na água disponível para consumo, sendo fato que diversas pessoas em diversos países enfrentam o estresse hídrico, com até 2,4 bilhões de pessoas vivendo esta realidade com tendências no agravamento desta situação, com possibilidades da escassez absoluta atingir países que já enfrentam situações extremas, países da África, da Europa e até mesmo países desenvolvidos como os Estados Unidos estão propensos a esta crise (ONU, 2024).

No Brasil, apesar do país ser considerado privilegiado com a quantidade hídrica existente comparada a outros países, a maior quantidade está presente na região Norte 73%, justamente a região menos habitada do planeta, ou seja, apenas 27% está localizado nas outras regiões com predomínio habitacional maior (LIMA, 2001). Outro ponto a ser discutido é o fator produção de água e disponibilidade a bacia Amazônica envolve outros países logo a produção de água é a soma daquilo que é produzido no Brasil junto com outros países, apresentando em sua foz cerca de 2009.000 m³/s (6591 Km²/ano), enquanto a produção na área brasileira atinge apenas 133.380 m³/s (4206 Km²/ano) o que contribui ainda mais para a ideia de abundância deste recurso (LIMA, 2001; MOLINIER *et al.*, 1994).

A utilização da água como um recurso de exploração econômica no Brasil está datada desde o período colonial, ao qual a principal atividade era o cultivo de cana empregando ainda a mão-de-obra escrava, surgiam as primeiras cidades abastecidas por chafarizes (ROSA e GUARDA, 2019). Nesta época o país já se encontrava sob um regime capitalista, ao qual a obtenção do lucro era a prioridade, através da intensa exploração dos recursos naturais, o cultivo de cana-de-açúcar e a atividade de mineração no século XVIII, foram as primeiras atividades a causar degradação sobre os recursos hídricos do país. Como os rios indicavam o caminho para as minas de ouro, o recurso água foi valorado economicamente, motivo pelo qual a coroa portuguesa estabeleceu algumas medidas protecionistas, com ações de proteção de nascentes e matas ciliares, apenas visando a proteção das minas de ouro (IORIS, 2020; ROSA e GUARDA, 2019).

Na era pós-colonialismo o crescimento demográfico e a migração de pessoas das zonas rurais para as urbanas, aliada ao desenvolvimento industrial e expansão agrícola observadas a partir do ano de 1950, foram os principais responsáveis no estabelecimento da crise hídrica no Brasil, o uso da água era exercido por múltiplas atividades (LIMA, 2001; IORIS, 2020), dentre os principais usos estão envolvidos a irrigação que chega a ser destinado 49,8% de toda água consumida, seguido pelo consumo humano (24,3%) e pelas indústrias (9,7%) (ANA, 2024).

Com todo este uso exigido no âmbito social e econômico, a coleta constante e abundante do recurso pode contribuir na redução da disponibilidade da mesma para atender a demanda, além disso pode ocorrer contaminação da água e geração de conflitos de uso, através de todos estes problemas vivenciados no século passado que foi promulgado no ano de 1997 a lei nº 9.433, que visava uma gestão descentralizada e participativa, ao qual o Código de Águas de 1934 deixava a desejar (LIMA, 2001). Nesta lei, conhecida também como Política Nacional dos Recursos Hídricos, se encontram os cinco instrumentos essenciais na gestão de águas: o

Plano nacional de Recursos Hídricos, a outorga do direito de uso dos recursos hídricos, a cobrança pelo uso da água, o enquadramento dos corpos d'água em classes de uso e o Sistema Nacional de Informações sobre os Recursos Hídricos. Os princípios básicos desta lei envolvem:

Art. 1º A Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos:

- I. a água é um bem de domínio público;
 - II. a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
 - III. em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
 - IV. a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
 - V. a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
 - VI. a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.
- (BRASIL,1997)

Além destes princípios foram desenvolvidos e criados órgãos responsáveis pela manutenção e aplicação da Política Nacional de Recursos Hídricos em todo território nacional, assim havia o surgimento do Conselho Nacional dos Recursos Hídricos (CNRH), sendo o órgão da mais alta hierarquia, Secretárias e Ministérios do Meio Ambiente (MMA) e órgãos gestores responsáveis por instituir e regulamentar essa política como a ANA. Ainda há o Comitê das Bacias Hidrográficas, responsáveis pelas discussões e tomadas de decisões no interior de uma bacia hidrográfica sem sobrecarregar os conselhos e ministérios (ROSA e GUARDA, 2019; GARCIA *et al.*, 2003).

3.2. Bacia Hidrográfica

De acordo com PAZ (2004), o conceito de bacia hidrográfica corresponde a uma área de captação natural da água proveniente das precipitações e que as fazem convergir para um único ponto conhecido como exultório, além de ser constituído por uma rede de drenagem formada por diversos corpos hídricos que fazem posterior confluência com um rio principal de maior extensão, local onde está localizado o exultório da bacia. Ainda segundo o autor o ponto de delimitação de uma bacia hidrográfica, ao qual se dá a forma da mesma, são as cotas, sendo delimitada identificando pontos de maiores cotas, que constituem os chamados divisores topográficos.

Para a ANA (2015) o conceito é semelhante, definindo como bacia hidrográfica um espaço geográfico delimitado pelo respectivo divisor de águas, cujo todo escoamento superficial converge para seu interior sendo captado pela rede de drenagem presente na mesma.

Para Santana (2003) bacia hidrográfica é referente a um compartimento geográfico natural delimitado pelos pontos mais altos do território, ao qual apresenta um corpo hídrico

principal com seus afluentes fazendo confluência com o mesmo, de modo que toda precipitação que ocorre sobre este território delimitado converge ao fim neste curso d'água principal seguindo até a saída da bacia no ponto mais baixo do relevo, correspondente ao exultório da bacia.

Vilela e Matos (1975) destacam a bacia hidrográfica como regiões com grande importância no estudo da hidrologia, devido a simplicidade no balanço de energia que ocorre em seu interior, sendo muitos estudos voltados aos recursos hídricos trabalhados nas bacias hidrográficas, segundo estes autores a definição de uma bacia hidrográfica envolve uma região definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou um sistema de conexões dos mesmos no qual toda a vazão é direcionada a uma simples saída.

A Bacia Hidrográfica pode ser considerada um sistema, no qual há entrada provenientes das chuvas e a saída através de seu exultório e da evapotranspiração, seu tamanho é variável existem bacias extensas, e bacias de menor tamanho, suas delimitações são feitas a partir de um ponto de exultório e seu tamanho ideal deve ser aquele que incorpora os principais interesses a serem estudados em seu interior (Porto e Porto, 2008).

3.3. Ciclo hidrológico

Abordando a temática do ciclo hidrológico da água, TUCCI (2007) o descreve como um fenômeno global no qual a água está sempre em constante movimento tanto na superfície terrestre quanto na atmosfera, sendo influenciado diretamente pela radiação proveniente do sol, segundo PAZ (2004) tal ciclo não apresenta um início ou um fim devido a água estar em constante movimento, logo insinuar que o ciclo se inicia através da evaporação das águas dos rios e oceanos são feitas apenas para questões didáticas acadêmicas.

TUCCI (2007) afirma que o ciclo é considerado fechado apenas em nível global, quando há o afunilamento pensando-se apenas em pequenas bacias de maneira isolada, todo o sistema é aberto, visto que há perdas e transportes de massas de água para pontos fora do ambiente delimitado, não necessariamente um volume evaporado no local será precipitado novamente naquele ponto, devido as diferentes dinâmicas de movimentação que ocorre na atmosfera e também na superfície terrestre.

De maneira resumida utilizando como apoio a figura 1 apresentada na sequência, tal ciclo inicia-se pelo processo de evaporação que ocorre nos rios, lagos e oceanos, impulsionada pela radiação solar, formando o chamado vapor d'água, que ao atingir a atmosfera ocorre o resfriamento devido as baixas temperaturas e aglutinação das moléculas líquidas de água com outras partículas presentes na atmosfera, como poeiras, conhecidos como núcleos de

condensação, conseqüentemente aumentando o peso da partícula e posteriormente ocasionando sua precipitação. A água proveniente da precipitação é parte evaporada no caminho e parte atinge diretamente rios e oceanos, reiniciando novamente o ciclo, a precipitação que atinge a superfície terrestre é parte interceptada pela cobertura vegetal do qual evapora ou então há o escoamento até o solo. A água que atinge o solo passará pelo processo de infiltração caso o solo seja poroso e permeável, o que contribui para o reabastecimento das águas subterrâneas e fornecimento hídrico para os vegetais, caso o solo seja impermeável ou esteja saturado haverá o escoamento superficial da água até o ponto mais baixo de uma bacia, ou seja os corpos hídricos reiniciando novamente o ciclo. A água captada pelas raízes dos vegetais é eliminada pelas mesmas na forma de vapor através do processo de transpiração (TUCCI, 2007; PAZ, 2004).

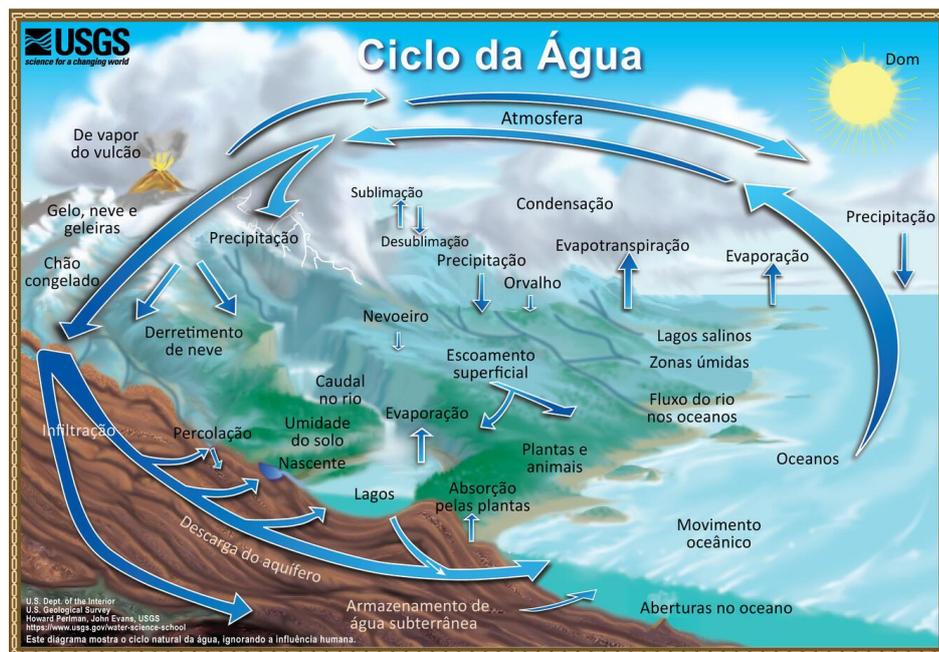


Figura 1: Esquema do ciclo hidrológico.
Fonte: USGS – United States Geological Survey.

O comportamento hidrológico no interior de uma bacia está alinhado a diversos fatores geomorfológicos, como a forma, o relevo, área, geologia, rede de drenagem, tipo de solo e uso da terra, logo as características físicas e antrópicas de uma bacia possuem ligação direta no ciclo hidrológico, afetando fatores como a infiltração, escoamento superficial e evapotranspiração. (TONELLO, 2005).

3.4. Erosão do solo

A erosão do solo é definida como um processo ao qual um material terroso ou rochoso é desprendido, arrastado e depositado em pontos de vale, causado pela ação da chuva ou do

vento (SILVA, 1995; FRANCISCO, 2011), este fenômeno é considerado de origem natural, no entanto, as atividades humanas tendem a acelerar este processo, logo atividades vinculadas ao uso direto do solo sem o devido planejamento e preparo do mesmo (agricultura e pecuária extensiva) aliado há casos de desmatamentos inadequados e crescimento desordenado de indústrias e cidades, desencadeia uma série de processos favoráveis a degradação do solo, que são perdidos muito mais rapidamente do que sua capacidade de reposição, este recurso é considerado não renovável, pois leva séculos até sua formação (HERNANI *et al.*, 2002; WEILL, 1999).

Em um local com predomínio da atividade agropecuarista, como é o caso da cidade de Rio Verde – GO, já traz consigo diversas problemáticas envolvendo o meio ambiente, a aplicação de fertilizantes, com o emprego de técnicas de mecanização agrícola e irrigação intensiva representam uma alta fonte de contaminação local do solo e dos recursos hídricos (WEILL, 1999).

A remoção da cobertura vegetal nativa para desenvolvimento destas atividades corrobora positivamente na degradação do solo por meio das erosões hídricas, com o desprendimento das partículas de solo e seu transporte, as mesmas são destinadas até os pontos mais baixos, em termos de altitude, de uma bacia hidrográfica, neste caso os rios (HERNANI *et al.*, 2002). Com a deposição destes sedimentos nos rios há como consequência o assoreamento destes corpos d'água, além disso sedimentos contaminados por agroquímicos resultante da aplicação em lavouras, podem ser carregados até os cursos hídricos próximos, prejudicando todo o ecossistema aquático (WEILL, 1999; BARBOSA *et al.*, 2014).

A EMBRAPA (2016) destaca que mais de 30% dos solos em todo mundo estão degradados pela ação de processos erosivos, que além de causar sérios danos aos recursos hídricos, também geram problemas econômicos, visto que o processo erosivo leva a degradação do solo e as perdas de nutrientes do mesmo, logo o plantio nestes pontos se torna inviáveis, acarretando em prejuízos para o produtor ao mesmo tempo em que afeta a economia. Ainda segundo a EMBRAPA as perdas de culturas anuais pelo processo de erosão alcançam 0,3% da produção, se estes valores persistirem até o ano de 2050 haverá redução de 10% no total produzido devido ao solo degradado. A erosão em pontos de pastagem e agricultura é superior a cem mil vezes a erosão que ocorre naturalmente, e o custo para recuperação do solo em termos de nutrientes atinge cerca de US \$150 bilhões de dólares por ano (HERNANI *et al.*, 2002).

3.5. Manejo das bacias hidrográficas

Tendo em mente que as bacias hidrográficas apresentam ecossistemas e características próprias dentro das mesmas, estudá-las são essenciais para a compreensão da dinâmica da água e suas consequências ambientais, visto que trazem consigo uma visão geral do ambiente, definindo características como o solo, água, vegetação e os principais efeitos advindos do uso e manejo do solo para a sustentabilidade do sistema e para o ciclo hidrológico (AVAZANI, 2005).

Desde 1997 o gerenciamento dos recursos hídricos passou a ser definida por lei, mas especificamente a Lei nº 9.433/1997, ao qual institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, definindo alguns fundamentos importantes, considerando a água como um bem de domínio público, consideração dos usos múltiplos da água, reconhecimento da mesma como um recurso finito e dotada de valor econômico e principalmente definindo a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da Política Nacional dos Recursos Hídricos (Brasil, 1997), da mesma forma afirmam Guerra e Cunha (1996), acrescentando que uma bacia é uma excelente unidade de gestão dos elementos naturais e sociais, já que alterações realizadas em pontos mais elevados de uma bacia, por consequência podem afetar diretamente pontos a jusante destes, além de afetar os fluxos energéticos de saída.

PIROLI (2022) afirma que o manejo de uma bacia hidrográfica deve sempre levar em consideração todos os indivíduos que vivem sobre a área, adotando estratégias ligadas ao relacionamento direto da água com as comunidades, áreas de bacias rurais devem ser manejadas de forma que mantenham uma boa infiltração e reduzam o escoamento superficial, com o objetivo de reabastecimento das águas subterrâneas e a manutenção das nascentes, consequentemente aumentando a permanência das vazões do corpo hídrico ao mesmo tempo em que auxilia na garantia de uma água de boa qualidade.

3.6. Áreas de Preservação Permanente

São caracterizadas como áreas de vegetação naturais localizadas ao longo dos rios ou qualquer outro curso d'água existente, desde suas nascentes nos pontos mais elevados do terreno até sua foz localizadas nos pontos mais baixos do terreno, ao qual possuem a finalidade de preservação e proteção dos recursos hídricos, conter erosões do solo, mitigar riscos de enchentes e rompimento de taludes, abrigar espécies da fauna e flora ameaçadas e ainda gerir o bem-estar público (BRASIL, 2012).

Quanto a proteção dos corpos hídricos a mais eficaz é feita através da mata ciliar e pelos ecossistemas que a mesma forma, com sua implantação feita ao entorno do curso d'água e das nascentes, respeitando a lei federal nº 12.651/2012 conhecida como Código Florestal, onde não há a presença dessa área de preservação permanente, a mesma deve ser implantada, visto que as raízes dos vegetais fornecem agregação ao solo em suas margens, além do material orgânico gerado pelas plantas (galhos, folhas) protegem o solo contra o impacto das gotas de chuvas, reduzindo a quebra e o escoamento superficial. Locais altos também devem ser preservados, visto que há nestes locais há recargas dos corpos hídricos, quando ocorre a retirada de vegetação nestes pontos processos erosivos tendem a acontecer devido a ação da chuva, levando a camada fértil do solo para os pontos mais baixos de uma bacia, os rios, causando assoreamento dos cursos hídricos e empobrecimento do solo (PIROLI, 2022).

3.7. Uso de ferramentas de geoprocessamento no manejo das bacias hidrográficas

Dentre as formas de um manejo adequado das bacias hidrográficas estão enquadradas as análises hidrológicas e ambientais, ao qual levantará informações a respeito do ciclo hidrológico no interior da bacia, caracterização esta que proporciona o melhor aproveitamento e gerenciamento dos recursos hídricos ao mesmo tempo em que aponta as limitações em seu uso (SILVA *et al.*, 2014)

Diante disso o uso de ferramentas de sensoriamento remoto com o processamento de imagens do formato raster em um ambiente de sistema de informação geográfica (SIG), fornecem auxílio para os estudos de práticas e planos que visam o manejo adequado de uma bacia hidrográfica, dados estes que estão se tornando mais eficientes com o passar dos anos, o uso desta ferramenta é bastante útil na investigação de possíveis danos em áreas verdes, rede de drenagem e áreas urbanas (Campos *et al.*, 2019).

Hott *et al.* (2004), descreve em seu estudo a importância da utilização de produtos de sensoriamento remoto orbital e de técnicas de geoprocessamento na determinação de Áreas de Preservação Permanente, desenvolvendo métodos na definição automática destas áreas em topos de montanhas e morros, cuja o acesso é mais restrito e a definição analógica para estas áreas são subjetivas e podem apresentar demasiados erros. As metodologias que utilizam geotecnologias se destacam como uma alternativa viável na redução do tempo empregado no mapeamento destas áreas e no tempo de fiscalização destas áreas.

Com a facilidade de acesso à informação digital de dados de geotecnologias nos últimos anos, associado a melhoria nos satélites e na resolução espacial com sensores mais tecnológicos têm se mostrado eficiente no melhor entendimento dos processos ecológicos e antrópicos que

agem sobre o planeta, logo análises mais precisas estão sendo possíveis, o que contribui positivamente na detecção de pontos de degradação das áreas vegetativas e processos de degradação natural, sendo possível ao mesmo tempo acompanhar a influência antrópica sobre a natureza e sua resposta em uma área de estudo de uma bacia hidrográfica (EUGÊNIO *et al.*, 2013 e EUGÊNIO *et al.*, 2017).

O sensoriamento remoto e o geoprocessamento são utilizados fundamentalmente para a manutenção de registros de uso da terra ao longo do tempo, imagens de satélite são importantes na avaliação de mudanças ocorridas dentro de uma bacia em um certo período de tempo, registrando a cobertura vegetal de cada período específico (CAMPOS *et al.*, 2004).

Técnicas de geoprocessamento permitem mapear certas características ambientais de uma bacia hidrográfica em estudo, facilitando a identificação de possíveis áreas propensas à ocorrência de erosões, ao mesmo tempo que identifica e analisa as principais variáveis de âmbito natural ou antrópico que mais contribuem para a ocorrência das erosões, possibilitando buscar soluções e medidas mitigadoras para tal problema (SILVA e MACHADO, 2014).

A utilização de ferramentas ligadas às geotecnológicas na aplicabilidade ambiental têm sido amplamente difundidas ao longo do tempo, atividades como perícia ambiental utilizam o geoprocessamento como uma ferramenta de apoio na identificação de danos ambientais em uma área de estudo. Imagens de satélite fornecem uma análise visual multitemporal, o que permite a identificação da época ao qual houve o dano ambiental, já o geoprocessamento é uma análise quantitativa utilizada junto a análise anterior, mensurando dados de danos ambientais, utilizando ferramentas de aerofotogrametria e processamento digital de imagens (PDI), determinando e medindo áreas com impacto ambiental, muito utilizado também na avaliação do uso da terra e as mudanças em suas paisagens (RAMOS e NÒBRIGA, 2020).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

Neste estudo será utilizado como instrumento de análise a Bacia Hidrográfica do Rio São Tomás, localizado nos municípios de Rio Verde e Santa Helena do estado de Goiás, sendo sua maior parcela pertencente a cidade de Rio Verde com aproximadamente 69,16% do território da bacia localizada sobre tal, sendo o restante de 30,84% pertencente ao município de Santa Helena. A área de drenagem da bacia corresponde a 1739,262 Km² com uma extensão de aproximadamente 76 Km e largura de 40 Km, sendo o perímetro de 206,88 Km, com uma

altitude média de 683 metros e o ponto de saída da bacia localizado sob as coordenadas 560965.330E, 8023082.040N, sendo o local pertencente ao bioma cerrado.

O clima da região segundo a classificação de Kooppen (1948) é caracterizado como tropical úmido do tipo Aw, com duas estações bem definidas: uma seca compreendendo o inverno e outono entre os meses de maio a setembro, e outra chuvosa abrangendo a primavera e o verão durante os meses de outubro a abril. Quanto a precipitação, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2023), chega a atingir uma média anual de 1660 mm.ano⁻¹, com temperaturas máximas e mínimas em torno de 35°C e 20°C, respectivamente.

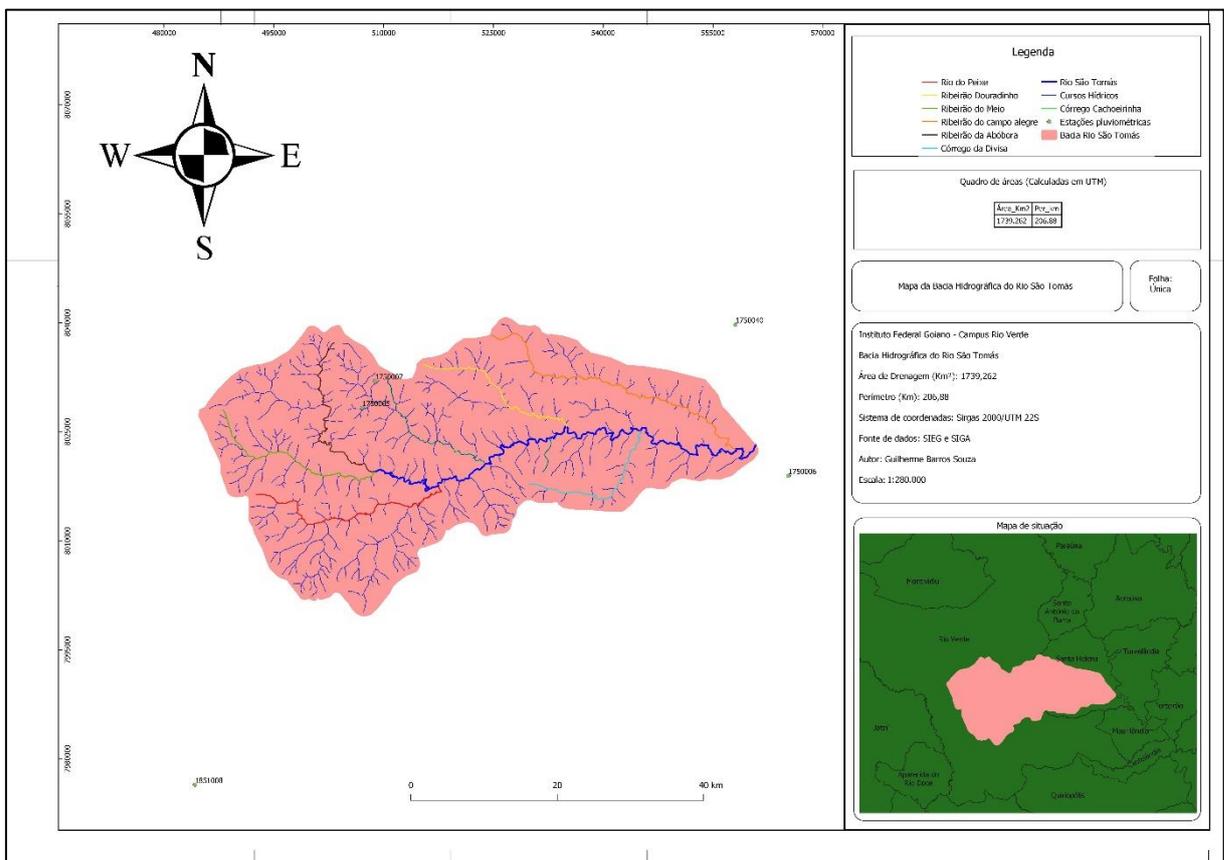


Figura 2: Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio São Tomás. **Fonte:** Próprio autor utilizando dados disponibilizados nas plataformas SIEG e SIGA, 2024.

O Rio Principal, conhecido como Rio São Tomás, segundo dados obtidos no Sistema Estadual de Geoinformação (SIEG, 2024), possui uma extensão de aproximadamente 93 Km, sua formação é decorrente da confluência entre dois rios, o Ribeirão do Meio e o Ribeirão das Abóboras, durante todo seu curso recebe a contribuição de diversos afluentes, dentre os principais se destacam o Córrego do Peixe, Córrego Cachoeirinha, Ribeirão Douradinho, Córrego da Divisa e Ribeirão do Campo Alegre. O rio principal necessariamente possui sua formação no ponto mais elevado do terreno, neste caso a 633 metros de altitude, já seu exultório,

ou seja, seu ponto de saída, se encontra em uma cota inferior de 463 metros, ponto ao qual atinge o Rio Verdão pela sua margem direita.

4.2. Confeção de mapas

Para uma melhor compreensão e desenvolvimento acerca do tema abordado, serão utilizados ao longo do estudo mapas ilustrativos desenvolvidos através do uso do software Qgis (versão 3.16), uma ferramenta gratuita e prática no desenvolvimento e criação de mapas, além de auxiliar na aplicação de técnicas estatísticas necessárias na obtenção de alguns resultados presentes no trabalho, o sistema de coordenadas adotado foi um sistema plano, de modo que auxilie nos cálculos de área, neste caso a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), sendo a mesma de maior utilização em todo mundo em termos de cartografia. As coordenadas nesta projeção são baseadas nas direções Norte-Sul, a partir da linha do Equador (N=0) e nas direções Leste-Oeste, recepcionada pela linha do Meridiano Central (E=500.000m). Os fusos são definidos a partir do meridiano de Greenwich, no sentido oeste-leste. No Brasil há oito fusos de recobrimento de todo território, sendo na área de estudo instaurado no fuso 22S, sob o Datum referencial SIRGAS 2000 (GIOVANI, 2021; CERQUEIRA, 1991).

Quanto aos dados para confeção dos mapas e análises estatística, os mesmos se encontram disponíveis no Sistema de Informações Geográficas Ambientais do Estado de Goiás (SIGA), SIEG, Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra do Brasil (Mapbiomas) e Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA) com o refinamento e processamento realizado dentro do ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

4.3. Mudança no uso e cobertura da terra

Buscando detectar as principais mudanças ocorridas na cobertura da terra para a Região Hidrográfica do Rio São Tomás, foi-se utilizado a metodologia proposta pelo Mapbiomas, ao qual infere que a transição da paisagem pode ser obtida através da utilização da imagem rasterizada do uso e cobertura da terra de um ano inicial em junção com outra imagem de um período final, seguindo a seguinte expressão:

$$(Ano 1 * 100) + ano 2$$

Equação 1

A aplicação da fórmula anterior é feita dentro de um ambiente SIG, a depender do resultado é possível observar as atividades que foram convertidas em outras dentro do período

analisado ou permaneceram a mesma, tudo feito a partir de uma análise de códigos gerados da resultante de duas imagens raster para o uso e cobertura da terra entre dois anos distintos. (MAPBIOMAS, 2024).

Além disso a mudança na cobertura da terra de maneira multitemporal (1985, 2000 e 2022) também foi avaliada através da construção de uma matriz de tabulação cruzada, de forma que haja um estudo mais detalhado das mudanças totais ocorridas no interior da bacia, com dados de ganhos, perdas e até mesmo de permanência, além de caracterizar, em termos de área, as principais atividades convertidas em outras no espaço delimitado (PONTIUS Jr *et al.*, 2004; ANGELINI, 2020; SOARES e MARTINS, 2023).

Ano 1	Ano 2					Total ano 1	Perdas
	1	2	4	5	6		
1	R_{11}	R_{12}	R_{14}	R_{15}	R_{16}	$\sum_{i=1}^{i=6} R_{1j}$	$\sum_{i=1}^{i=6} R_{1j} - R_{11}$
2	R_{21}	R_{22}	R_{24}	R_{25}	R_{26}	$\sum_{i=1}^{i=6} R_{2j}$	$\sum_{i=1}^{i=6} R_{2j} - R_{22}$
4	R_{41}	R_{42}	R_{44}	R_{45}	R_{46}	$\sum_{i=1}^{i=6} R_{4j}$	$\sum_{i=1}^{i=6} R_{4j} - R_{44}$
5	R_{51}	R_{52}	R_{54}	R_{55}	R_{56}	$\sum_{i=1}^{i=6} R_{5j}$	$\sum_{i=1}^{i=6} R_{5j} - R_{55}$
6	R_{61}	R_{62}	R_{64}	R_{65}	R_{66}	$\sum_{i=1}^{i=6} R_{6j}$	$\sum_{i=1}^{i=6} R_{6j} - R_{66}$
Total ano 2	$\sum_{i=1}^{i=6} R_{i1}$	$\sum_{i=1}^{i=6} R_{i2}$	$\sum_{i=1}^{i=6} R_{i4}$	$\sum_{i=1}^{i=6} R_{i5}$	$\sum_{i=1}^{i=6} R_{i6}$	$\sum_{i=1}^{i=6} R_{nij}$	$\sum_{i=1}^{i=6} Perdas$
Ganhos	$\sum_{i=1}^{i=6} R_{i1} - R_{11}$	$\sum_{i=1}^{i=6} R_{i2} - R_{22}$	$\sum_{i=1}^{i=6} R_{i4} - R_{44}$	$\sum_{i=1}^{i=6} R_{i5} - R_{55}$	$\sum_{i=1}^{i=6} R_{i6} - R_{66}$	$\sum_{i=1}^{i=6} Ganhos$	$\sum_{i=1}^{i=6} R_{nij} - Perdas$

Figura 3: Tabulação cruzada. **Fonte:** Adaptado de Angelini (2020) e Pontius Jr. et al., (2004).

De modo a tornar mais dinâmico a matriz de tabulação cruzada, serão utilizadas numerações definidas pelo próprio autor referindo-se aos principais usos e ocupações da terra na bacia em estudo, sendo elas: a vegetação (1), silvicultura (2), agropecuária (4), junção da agricultura e da pecuária extensiva, área urbana e não vegetadas (5) e corpo d'água (6).

A classe R_{ij} representa as mudanças ocorridas no uso e ocupação do solo entre dois (2) períodos, sendo a notação i , nas linhas, correspondente ao ano 1, enquanto a notação j , nas colunas, o ano 2. Os valores destacados na diagonal, neste caso pertencente a anotação R_{ij} , conforme apresentado anteriormente, representam as áreas, em hectares (ha), que permaneceram sem mudanças ao longo do tempo analisado (NERY, 2014).

A classe de perda é resultado da subtração do total da atividade no ano 1 (R_{ix}) pela permanência da mesma na bacia (R_{jj}). Quanto aos ganhos a ideia é semelhante, no entanto envolve a subtração em colunas do somatório da atividade para o ano 2 em relação a permanência da mesma atividade na bacia (NERY, 2014).

4.4. Erosão do solo

Uma das formas de identificar possíveis pontos de erosões hídricas no interior de uma bacia hidrográfica é através do uso da Equação Universal de Perdas de Solo, proposta por Wischmeier e Smith (1978), ao qual busca reproduzir o que ocorre naturalmente no solo em determinadas parcelas do território. Seu uso advém de alguns fatores que contribuem para a possível perda do solo ao longo do tempo, que quando combinados através da equação 2 apresentada na sequência, fornece um resultado ao qual é possível observar pontos com maiores ou menores suscetibilidade erosiva no interior da bacia (LIMA, 2020).

$$A = R * K * L * S * C * P \quad \text{Equação 2}$$

Sendo:

A = estimativa média anual de perda de solo ($\text{ton ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$);

R = fator de erosividade da chuva ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$);

K = fator de erodibilidade do solo ($\text{Ton MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$);

L = fator de comprimento do declive (adimensional);

S = fator de declividade;

C = fator de cobertura e uso da terra (adimensional);

P = fator prática conservacionista de uso da terra (adimensional).

4.4.1. Fator erosividade da chuva (R)

O fator R faz referência a energia ao qual as gotas provenientes da precipitação exercem sobre o solo, causando possíveis desgastes e rupturas no mesmo (REGINATTO *et al.*, 2011). Para a obtenção deste fator será utilizada a equação desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978), apresentada na equação 3.

$$R = 67,355 * \left(\frac{r^2}{p}\right)^{0,85} \quad \text{Equação 3}$$

No qual:

R = erosividade mensal das chuvas ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{mês}^{-1}$);

r = precipitação pluviométrica média mensal (mm);

p = precipitação média anual (mm).

Tabela 1: Estações pluviométricas utilizadas para o cálculo da erosividade da chuva.

Nome	Código	Latitude	Longitude
Rio Verde	1750005	8028212N	507363E
Faz.Bauzinho	1750006	8018483N	565379E
Rio Verde	1750007	8031914N	508818E
PCH Ypé Barramento	1750040	8039641N	558609E
UHE Barra dos Coqueiros	1751006	8024535N	459652E
UHE Caçu Rio Doce	1851008	7976374N	484301E

Fonte: Próprio autor utilizando dados da ANA.

Referente as precipitações médias anuais e mensais exigidas na fórmula anterior, os dados foram retirados das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) disponibilizadas através de seu site HIDROWEB, variando entre os anos de 1975 a 2018, no total foram utilizadas 6 estações, sendo realizado dentro do ambiente SIG uma interpolação entre as mesmas para definição das áreas de influência de cada uma sobre a bacia.

A interpolação utilizada sobre as representações das estações pluviométricas foi a *Inverse Distance Weighting (IDW)*, em português Ponderação pelo Inverso da Distância, sendo a interpolação espacial mais popular e difundida no mundo. A mesma consiste na realização da média ponderada espacial relacionada aos valores de precipitação dos pontos vizinhos ao ponto de interesse a ser interpolado, neste caso a bacia (SILVA *et al.*, 2019). Quanto maior for a distância do ponto em relação ao objeto de interesse, menor será sua área de influência, logo pontos mais distantes da bacia são menos influentes em comparação aos pontos mais próximos (NERIS, 2019).

4.4.2. Fator erodibilidade do solo (K)

Este parâmetro representa a suscetibilidade erosiva para os solos, variando de solo para solo, devido as características distintas existentes entre os mesmos, características físicas, químicas e mineralógicas, voltadas a capacidade de infiltração e armazenamento de água, a permeabilidade e resistência ao rompimento e arraste de partículas, as quais condicionam os solos para probabilidades maiores ou menores de ocorrência erosiva (Wischmeier e Smith, 1978). Para os tipos de solos existentes na bacia em estudo os dados foram retirados do site

SIEG, enquanto o fator K foi obtido através da literatura em estudos que fizeram análises físicas e químicas de cada solo no intuito de encontrar o respectivo valor de erosividade para diferentes solos, o valor de K é dependente das porcentagens de argila, silte e areia presente nos solos, logo sua obtenção é feita através de análises laboratoriais. Os valores de erodibilidade encontrados na literatura são apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Valores para o fator K obtidos na literatura.

Classe de solo	Fator K	Referências
Latossolo Vermelho Ácrico	0,0263	Back (2023)
Neossolo litólico distrófico	0,03293	Xavier et. al (2019)
Latossolo vermelho ácrico férrico	0,013	Lopes; Bias e Rodrigues (2009) e Baptista (2003)
Latossolo Vermelho distrófico	0,0179	Back (2023)

Fonte: Próprio autor utilizando dados provenientes da literatura.

4.4.3. Fator topográfico (LS)

Este fator trata-se da relação entre as variáveis comprimento de rampa (L) e declividade (S), ao qual serão avaliadas juntas durante a modelagem, representando um agente ativo influente direto nos processos erosivos, devido a interferência na distância e velocidade a ser percorrida pela água do escoamento superficial no solo, quanto mais declivoso, maior a probabilidade de carreamento de partículas (Xavier *et al.*, 2019).

O fator topográfico apresenta grande relevância no processo de perda de solo, no entanto não deve ser considerado como o principal agente interferente, a depender da atividade desempenhada na bacia a proteção da camada superficial do solo pode ser mínima, de modo que leve a quebra do solo pela ação da energia cinética proveniente das gotas de chuva, assim o fator topográfico deve estar condizente com o uso e cobertura da terra, estudá-los torna-se indispensáveis na obtenção de dados para uma melhor elaboração de propostas favoráveis a preservação ambiental e redução de impactos ao meio (FIORESE e TORRES, 2019).

Para a obtenção deste fator neste estudo foi-se utilizado o plugin SAGA 7.2 inserido dentro do aplicativo Qgis, com o SAGA é possível calcular o fator LS de maneira automatizada utilizando um modelo digital de elevação – MDE - disponível em sites como o IBGE e TOPODATA, logo foi pedido ao plugin para que calculasse o comprimento de rampa e declividade associados, através da metodologia de Wischemeier e Smith (1978).

4.4.4. Fator CP

Este fator é referente a junção entre as variáveis de cobertura da terra (C), ao qual atua como protetora do solo contra processos erosivos, reduzindo o impacto das gotas de chuvas e as Práticas Conservacionistas (P) que expressam o índice esperado de perda de solo relacionado a áreas com a presença ou não de práticas conservacionistas (XAVIER *et al.*, 2019; TULLIO, 2019). Como o enfoque do trabalho é baseado na suscetibilidade erosiva do terreno presente no interior da bacia, não envolvendo práticas conservacionistas para diferentes culturas, ambos os fatores serão trabalhados de maneira conjunta.

Diferentes usos existentes na bacia contribuem de maneira positiva ou negativa para a ocorrência de perda do solo por processos erosivos, logo os valores para este fator variam entre 0 e 1, sendo a numeração “0” referente a locais com nenhuma contribuição à processos erosivos como áreas urbanas e lâminas de água e a numeração “1” ligada a solos com uma cobertura favorável aos processos de perda de solo pela ação da chuva, como exemplo solo exposto com pouca ou nenhuma vegetação. Com relação aos valores para o fator CP para cada cobertura da terra os mesmos foram obtidos através da literatura, sendo apresentado na tabela a seguir, referindo-se apenas as coberturas existentes no interior da bacia em análise.

Tabela 3: Valores do fator CP obtidos na literatura.

Uso da terra	Valor de CP	Referências
Vegetação	0,00004	Xavier et. al (2019)
Sivilcultura	0,0158	Couto et. al (2018)
Área agrícola	0,12	Lopes, Bias e Ribeiro (2009)
Área Urbana	0	Xavier et. al (2019)
Corpo d'água	0	Couto et. al (2018)

Fonte: Próprio autor utilizando dados provenientes da literatura.

4.5. Áreas de Preservação Permanente

Para análise das áreas de preservação permanente presentes na bacia será utilizado como base a Lei Federal nº 12.651/2012, conhecida também como Código Florestal. Nesta Lei no capítulo II é discorrido a respeito das APPs, ao qual no Artigo 4º da Seção I é apresentado as delimitações a serem realizadas de acordo com a largura dos rios.

Art. 4º Considera-se Áreas de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei:

I – As faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluindo os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;

- b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
- d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
- e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

[...]

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;

[...]

(BRASIL, 2012)

Para a análise adequada das APPs presente nas bacias serão utilizados arquivos vetoriais disponibilizados no sistema MapBiomas para uso e cobertura da terra, assim sendo possível interligar as respectivas áreas definidas por lei para cada corpo hídrico com o que de fato está presente no local, detectando possíveis interferências de uso nestas áreas restritas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados alcançados no desenvolvimento deste trabalho foram obtidos através da análise espaço-tempo de três anos em específico, 1985, 2000 e 2022, toda apresentação dos resultados e a discussão em torno dos mesmos serão voltados para estes períodos, de forma que seja analisado a evolução do uso e cobertura da terra, da erosão e das Áreas de Preservação Permanente no interior da bacia em estudo dentro deste intervalo de tempo.

5.1. Uso da terra e suas mudanças

A figura 04 demonstra os principais usos da terra presentes na bacia durante o período analisado, nela é possível observar a dominância da agropecuária sobre todo o território, o que já se esperava, visto que a economia local é movimentada pelo agronegócio, sendo o município de Rio Verde - GO uma cidade de destaque neste ramo. Observa-se também a expansão urbana tanto de 1985 a 2000, quanto de 2000 a 2022, o que demonstra o grande potencial de desenvolvimento da cidade relativo a áreas de ocupação humana, que tende a um crescimento ainda maior para os próximos anos. Áreas de vegetação perderam espaço quando comparado o ano de 1985 e 2022, enquanto a atividade de sivilcultura apresentou um grande desenvolvimento, ao qual não era desempenhado no ano de 1985, passando a ter presença no ano de 2000 e tendo um crescente para o ano de 2022.

A análise espaço-temporal para cobertura e uso da terra levou em consideração os dados fornecidos pelo MapBiomas de forma a apresentar o percentual de alteração existente na bacia do Rio São Tomás. De maneira geral foram destacados cinco (5) classes para o Uso e Cobertura

da terra existentes na bacia, com exceção para o ano de 1985, ao qual apresenta apenas quatro (4) classes de destaque, na tabela 04 é possível observar as áreas de abrangência de cada uso sobre o território total da bacia em estudo, sendo as principais classes de usos identificadas: a vegetação, a sivilcultura, a agropecuária, área não vegetada e corpo d'água.

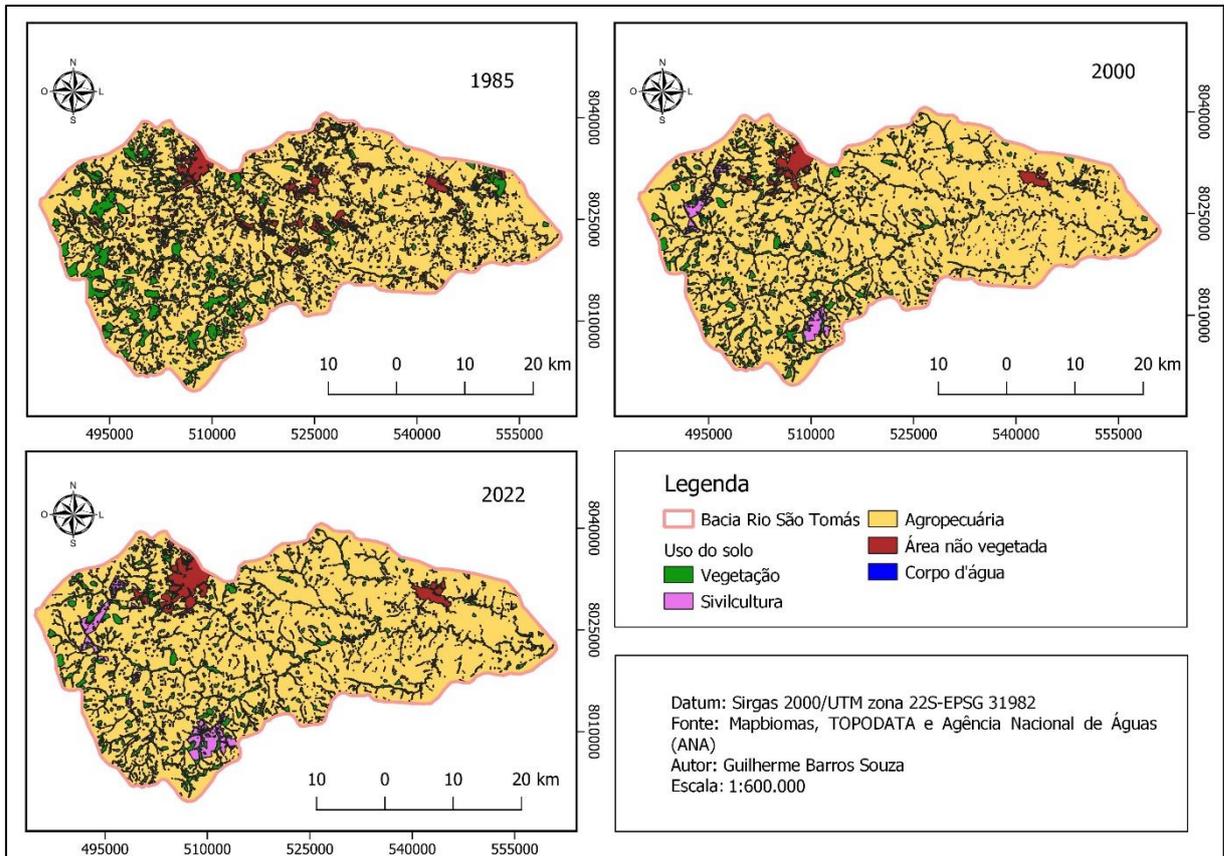


Figura 4: Evolução espaço-temporal e distribuição das classes de uso e cobertura da terra. **Fonte:** Próprio autor.

Tabela 4: Áreas de abrangência do uso e ocupação do solo da bacia do Rio São Tomás.

Classes	1985		2000		2022	
	Área [há]	Área [%]	Área [há]	Área [%]	Área [há]	Área [%]
Vegetação (1)	24616,023	14,15	19261,467	11,07	18451,482	10,61
Sivilcultura (2)	0	0,00	2255,842	1,30	3499,831	2,01
Agropecuária (4)	138000,163	79,33	149068,006	85,69	146198,433	84,04
Área não vegetada (5)	10751,412	6,18	3117,032	1,79	5479,441	3,15
Corpo d'água (6)	599,654	0,34	265,553	0,15	338,555	0,19
Total	173967,252	100	173967,9	100	173967,742	100

Fonte: Próprio autor.

A agropecuária nitidamente ocupa a maior parcela do território da área em estudo para qualquer ano observado, segundo o IBGE (2022) a economia local é impulsionada pela agricultura principalmente voltada ao cultivo de grãos como a soja e o milho, sobretudo com vista ao município de Rio Verde – GO. A atividade de agropecuária representava em 1985 79,33%, ocupando um total de 138.000,163 hectares, já para o ano de 2000 foi mapeado 85,69% de ocupação da atividade, o equivalente a 149.068,006 hectares, com relação ao ano de 2022 a bacia apresentava 84,04% de seu território com predomínio desta atividade, com isso observa-se um crescimento da atividade quando comparado ao ano de 1985. Nos estudos das autoras Nunes (2020) e Nascimento (2023) também evidenciam o crescimento desta atividade na região sudoeste do estado de Goiás e na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Aboboras, ao mesmo tempo em que destacam a redução nas áreas de pastagens que cederam espaço para a agricultura.

Com o notório crescimento da atividade de agropecuária, áreas ocupadas pela vegetação tiveram uma drástica redução em sua ocupação na bacia, com perdas de 21,75% relativo aos anos de 1985 a 2000 e redução de 4,2% de 2000 a 2022. A maior presença de vegetação encontra-se nas áreas ao entorno dos corpos hídricos, conhecidas como Áreas de Preservação Permanente, com a alta redução de áreas vegetadas, observada principalmente nos anos de 1985 e 2000, levou os municípios locais a desenvolverem e aplicarem políticas de reflorestamento e preservação das APPs. O Programa Produtor de Água (PPA) é um exemplo de uma política pública adotada pelo município de Rio Verde no ano de 2013 com vista na melhoria na qualidade e quantidade da água através da preservação destas áreas, inclusive incentivando a participação do produtor rural (Rio Verde, 2013).

Observou-se também um novo uso para o ano de 2000, no caso o plantio de eucaliptos, conhecido como sivilcultura, que além da sua instalação houve desenvolvimento no ano de 2022, passando de 1,3% de ocupação para 2,01%, visivelmente localizados a noroeste e sudeste da bacia.

Áreas não vegetadas, antropizadas, apresentaram decréscimo quando comparadas ao ano de 1985, no entanto realizando um comparativo entre os anos 2000 e 2022 percebe-se um aumento de 75,79% desta área, resultante da expansão na ocupação urbana.

Por fim a superfície ocupada pelos corpos d'água, que geralmente representa pontos de acumulação de água como barragens e lagos, representava em 1985 0,34% (599,654 ha) com posterior queda no ano de 2000 para 0,15% (265,553 há) de ocupação e 0,19% (338,555 há) no ano de 2022, essa variação é justificada pela variação climática existente ao longo de um ano

com o período de seca de maio a outubro, influente direto na redução das vazões dos corpos hídricos (Silva et.al, 2016).

Em um local delimitado quando há o desenvolvimento de uma atividade, conseqüentemente há a redução de outra, ao qual cede espaço para a evolução da primeira, com isto a tabela de tabulação cruzada apresentada na sequência busca retratar as perdas, ganhos e permanência de cada atividade existente no interior da bacia em estudo, bem como avaliar a área cedida de uma atividade a outra, referente primeiramente aos anos de 1985 a 2000 seguido pelo comparativo dos anos 2000 a 2022.

Tabela 5: Tabulação cruzada para conversão uso da terra em hectares (ha) de 1985 a 2000. 1 (Vegetação); 2 (Sivilcultura); 4 (Agropecuária); 5 (Área não vegetada); 6 (Corpo d'água).

Ano de 1985	Ano de 2000					Total 1985	Perdas
	1	2	4	5	6		
1	15220,86	935,529	8369,145	65,963	54,532	24646,03	9425,169
2	0	0	0	0	0	0	0
4	3593,351	1211,9	132120,42	969,404	52,61	137947,7	5827,265
5	110,034	104,77	8466,899	2074,966	3,342	10760,01	8685,045
6	267,214	0	148,244	8,999	161,459	585,916	424,457
Total 2000	19191,46	2252,199	149104,71	3119,332	271,943	173939,6	24361,94
Ganhos	3970,599	2252,199	16984,288	1044,366	110,484	24361,94	149577,7

Fonte: Próprio autor.

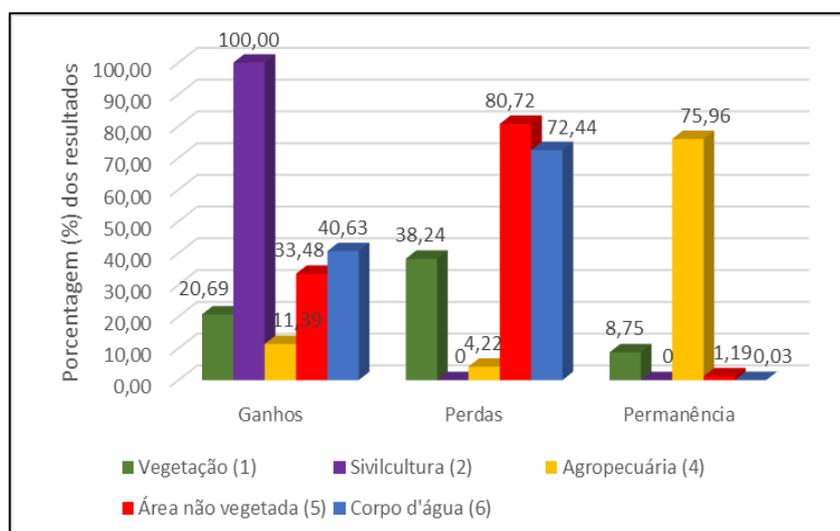


Figura 5: Resultado em porcentagem proveniente dos ganhos, perdas e permanência de cada atividade para os anos de 1985 e 2000. **Fonte:** Próprio autor

Com base na tabela 05 e na figura 5, relativo as perdas para o ano de 1985 a 2000, percebe-se que a vegetação obteve redução de 38% de sua área, ao qual houve maior conversão para área de agropecuária com 34% e o restante distribuído entre sivilcultura (3,7%), área não vegetada (0,26%) e corpo d'água (0,22%). Quanto aos ganhos a vegetação obteve no total 21%, com maior conversão da agropecuária para pontos de vegetação com 18,72%, seguido pelo corpo d'água (1,39%) e área não vegetada (0,57%), como não havia a atividade de plantio de eucalipto no ano de 1985 a mesma não cedeu espaço para evolução da atividade analisada. A permanência para cobertura vegetal atingiu 8,75% de área permanente na bacia.

A área não vegetada apresentou perdas de 81% de sua área, convertidas em sua maioria na atividade de agropecuária com 78%, seguido pela vegetação (1,02%), sivilcultura (1%) e corpo d'água (0,03%). Referente aos ganhos obteve-se 33,48% provenientes da agropecuária (31,07%), seguido da vegetação (2,1%) e por fim dos corpos d'água (0,3%), a permanência da mesma na bacia é de 1,19%.

A atividade agropecuária foi a que mais apresentou permanência na bacia ao mesmo tempo em que as perdas, dentre as três (3) maiores, foram caracterizadas como baixas. No total há apenas 4,22% de perdas, enquanto os ganhos representaram 11,39% com permanência de 75,95% do território em estudo.

De maneira geral é perceptível o desenvolvimento da agricultura durante o período analisado, mantendo sua permanência na área da bacia, ao mesmo tempo em que apresentava baixas taxas de conversão em outras atividades, o que se nota são as demais atividades sendo convertidas em maior porcentagem para agropecuária. Analisando o total de ganhos pelas perdas percebe-se que apenas a agropecuária e a sivilcultura obtiveram saldos positivos, ao mesmo tempo que a agropecuária apresentou maiores taxas de mudanças e permanência na bacia, com 13% de mudanças considerando as perdas e ganhos, tal atividade foi a maior em termos de ganhos com 16.984,288 hectares de área destinadas ao seu uso, relativo as perdas se destacou como a terceira maior, enquanto as demais apresentaram menos de 10% de mudança geral. A área não vegetada se destacou devido à alta taxa de perdas, sendo a maioria convertida em áreas de desenvolvimento da agropecuária.

Tabela 6: Tabulação cruzada para conversão uso da terra em hectares (ha) de 2000 a 2022. 1 (Vegetação); 2 (Sivilcultura); 4 (Agropecuária); 5 (Área não vegetada); 6 (Corpo d'água).

Ano de 2000	Ano de 2022					Total 2000	Perdas
	1	2	4	5	6		
1	15540,224	160,802	3356,691	78,646	110,531	19246,89	3706,669
2	325,317	1833,893	97,379	1,816	0,000	2258,405	424,512
4	2500,209	1505,055	142486,231	2486,781	85,288	149063,6	6577,334
5	14,478	1,367	207,205	2893,234	1,367	3117,652	224,4181
6	80,105	0,000	32,354	14,233	144,874	271,5669	126,6924
Total 2022	18460,33	3501,117	146179,86	5474,711	342,0604	173958,1	11059,63
Ganhos	2920,109	1667,224	3693,6297	2581,477	197,1859	11059,63	162898,5

Fonte: Próprio autor.

Para os anos de 2000 a 2022 a vegetação apresentou um resultante de 19% de perdas, sendo 18% destes convertidos em agropecuária, o restante distribuído entre a sivilcultura, áreas não vegetadas e corpo d'água. Quanto aos ganhos, atingiu 16% sendo a maior parte cedida pela agropecuária com 14% do total, seguido pela sivilcultura com 2%, as áreas não vegetadas e o corpo d'água apresentaram menos de 1% de conversão de suas áreas. A permanência da atividade na bacia atingiu 8,93%.

Assim como analisado para os anos de 1985 a 2000 a agricultura foi a atividade que mais apresentou mudanças em termos de perdas e ganhos, no entanto diferentemente do observado para os anos anteriores a taxa de perdas se sobressaiu a de ganhos, com 6577,334 hectares de perda representando 4% do total de sua área de ocupação, destinados em maiores quantidades a vegetação, áreas não vegetadas e sivilcultura, em termos de área total da bacia a mesma foi a que mais apresentou perdas, isso demonstra um ponto positivo, visto que a produtividade está aumentando ao mesmo tempo que a área utilizada para o plantio é reduzida. O destaque para esta atividade é a sua permanência na bacia com 82%.

Outra atividade que chamou atenção foi a sivilcultura, com um saldo positivo de ganhos sobre as perdas, demonstra seu desenvolvimento na bacia, com ganhos que chegaram a 48% com a maior parte advindo da agropecuária (42%) e da vegetação (4,6%), quanto as perdas demonstram 18% sendo a maior parte convertida em vegetação (14%). A permanência da atividade chegou a 1,05%.

As áreas não vegetadas também apresentaram grandes ganhos de área, devido principalmente à expansão das zonas urbanas, com um ganho de 2581,447 hectares (47%), se destaca com um saldo positivo, visto que as perdas representaram apenas 224,41 hectares (7%), sua permanência na bacia atingiu 2893,234 hectares, considerando toda área da bacia este valor representa (1,66%).

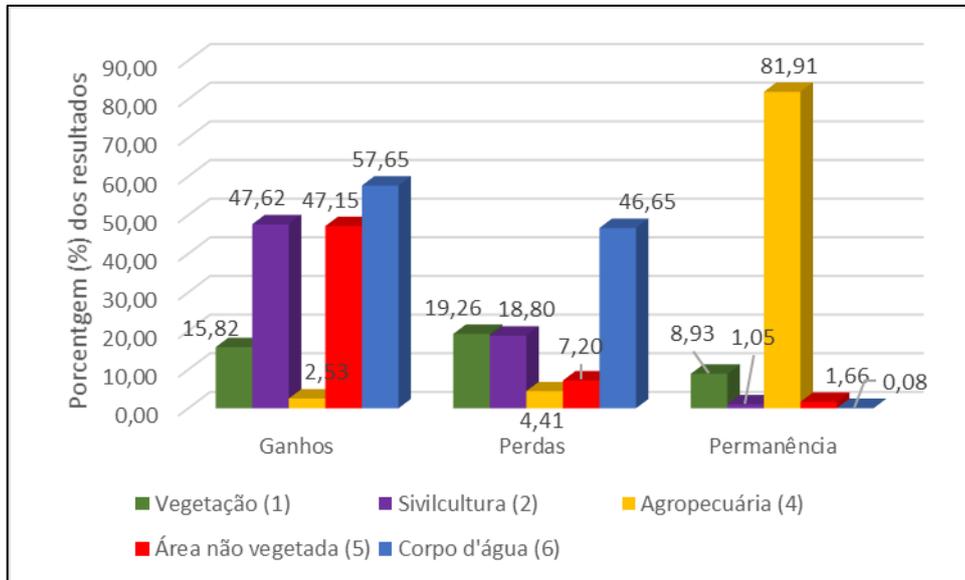


Figura 6: Resultado em porcentagem proveniente dos ganhos, perdas e permanência de cada atividade para os anos de 2000 e 2022. **Fonte:** Próprio autor

De maneira geral realizando um comparativo entre as mudanças e conversões dos usos e coberturas do solo entre os anos 1985/2000 e 2000/2022 percebe-se que para os últimos anos em análise a variação nos usos não demonstraram altos índices, com a permanência das atividades sendo destaque, o que é diferentemente visto para os primeiros anos, ao qual as mudanças apresentaram altas taxas em um espaço de tempo curto de 15 anos, o que pode ser levado em consideração é que o desenvolvimento das atividades na bacia já atingiram seu máximo, considerando a não intervenção em áreas protegidas como as APPs e Reserva Legal, possivelmente não apresentando evolução para os próximos anos.

5.2. Resultado do fator R

Para chegar-se ao resultado final do fator erosividade da chuva, primeiramente é necessário a obtenção dos dados de precipitações médias fornecidas pelas estações pluviométricas da ANA, em sequência é realizado uma interpolação dentro do ambiente SIG caracterizando a área de influência das precipitações sobre a bacia em estudo (figura 7).

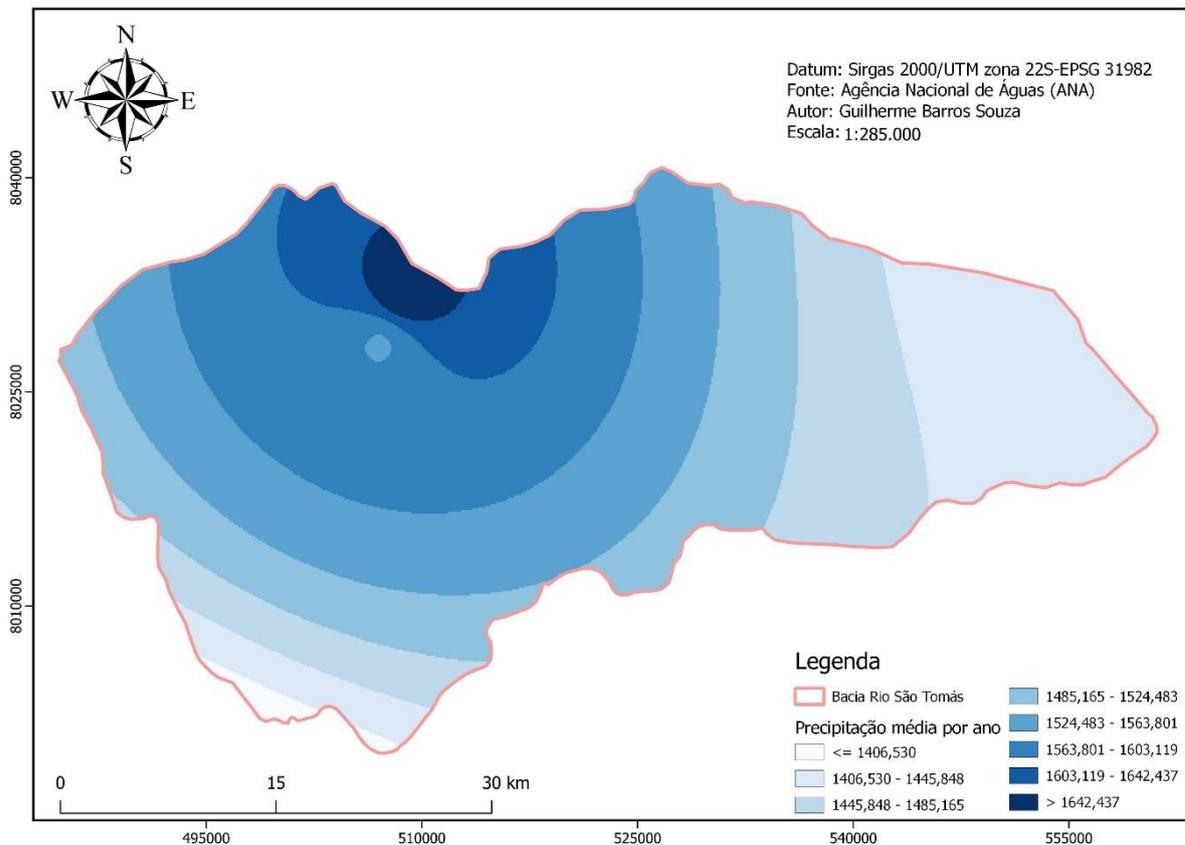


Figura 7: Mapa da precipitação média, desenvolvido a partir dos dados das estações pluviométricas disponibilizados pela ANA. **Fonte:** Próprio autor a partir de dados da ANA.

Com a obtenção das precipitações médias anuais e mensais de cada estação o fator R é calculado de acordo com os dados de cada mês de maneira isolada, ao final soma-se o valor encontrado para o mesmo em cada mês do ano fornecendo assim a erosividade anual da chuva que se deseja. Para a bacia em estudo foi encontrado um valor de 7993,391 MJ.mm/ha.ano, quando comparado a alguns estudos realizados de maneira geral para o estado de Goiás, nota-se que este resultado está inserido na faixa definida por um estudo do Galdino (2015), ao qual apresenta valores entre 7425 MJ.mm/ha.ano a 9633 MJ.mm/ha.ano, para todo o estado.

5.3. Resultado do fator K

Com os valores de K obtidos na literatura, de acordo com cada classe de solo pertencente a bacia, foi possível obter o mapa de erodibilidade (figura 8), a reclassificação do fator K foi baseada no estudo de Francisco (2021), ao qual enquadra esse fator em classes de riscos, variando de muito baixo a muito alto.

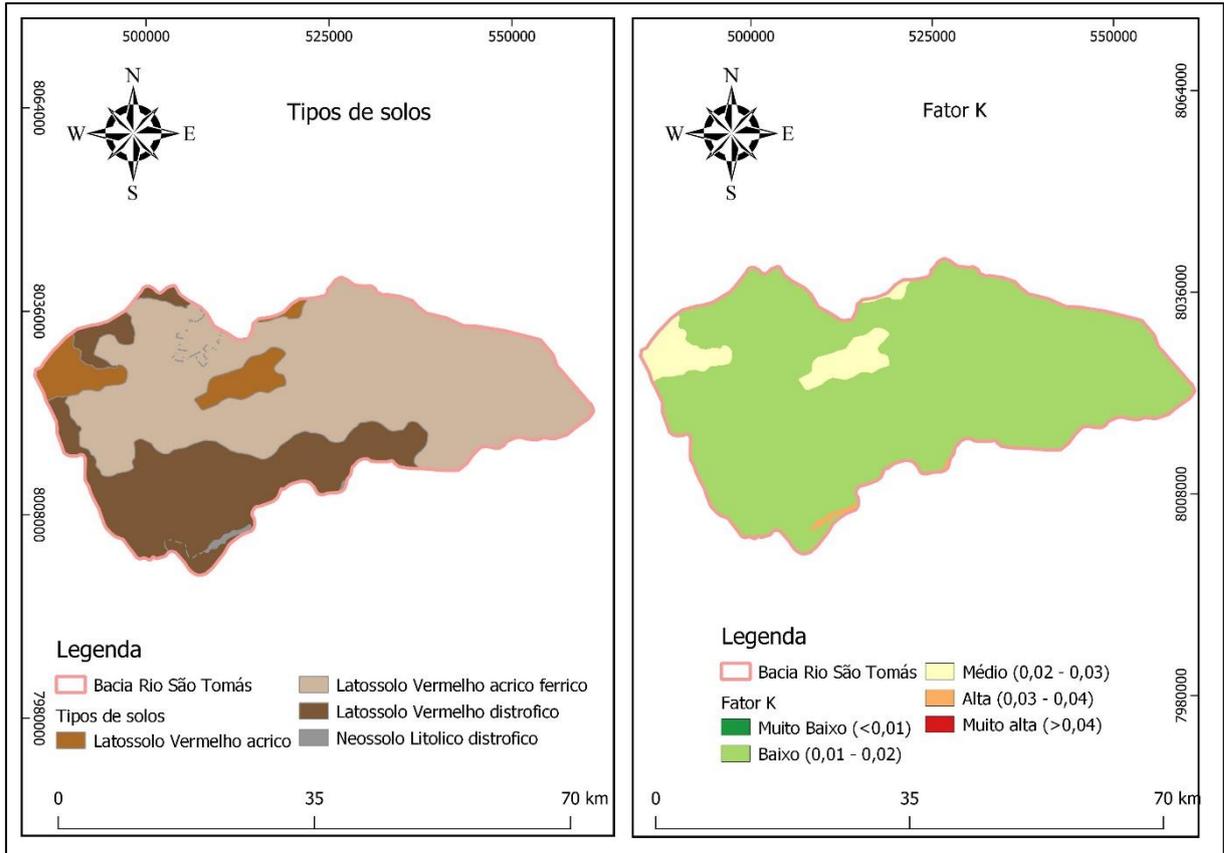


Figura 8: Mapa comparativo dos tipos de solos e o fator K reclassificado de acordo com a metodologia de Francisco (2021). **Fonte:** Próprio autor a partir de dados do SIEG e Francisco (2021).

Com esta representação é visível que o tipo de solo predominante no local é o Latossolo Vermelho, ao qual, segundo a Embrapa (2021) estão localizados em áreas planas (0–3%) a suave-onduladas (3-8%) e possui grande aptidão agrícola, apesar de sua acidez, o que demanda práticas de correção do potencial hidrogeniônico (pH) através de técnicas conhecidas como calagem e adubação.

A origem deste tipo de solo é oriunda da transformação química e/ou física (Intemperismo) de uma rocha principal rica em ferro, o que explica sua coloração avermelhada, proveniente dos óxidos de ferro, destaca-se por ser um solo homogêneo com pouca diferenciação entre os horizontes, com a camada superficial (horizonte A) apresentando estruturas granulares e o horizonte B latossólico com quantidades variáveis de óxidos de ferro e alumínio. São solos profundos e muito desenvolvidos, com boa permeabilidade de água, além de fortemente coesos e resistentes a erosão, baixo fator K (EMBRAPA, 2021).

Os latossolos vermelhos apresentam um nível terciário de classificação segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), para a Bacia do Rio São Tomás destaca-se em maior predominância o tipo Acriférrico, apresentando altos teores de ferro em sua composição e baixos teores de nutrientes como características, sendo necessário a adubação

para utilização agrícola. Em seguida o segundo tipo de solo em destaque é o distrófico, que possui como característica a baixa fertilidade. Por fim o terceiro nível de menor predominância é o ácrico, com pobreza nutricional, com alta necessidade de adubação e correção de acidez para uso agrícola.

O Neossolo Litólico também está presente na bacia em análise, destaca-se por ser um solo pouco desenvolvido e raso, com profundidade em torno de 50 cm, encontrados primordialmente em relevos acidentados e montanhosos, não apresentando horizonte B, com horizonte A logo acima da rocha de origem, em alguns casos apresentam horizonte C pouco espesso. Seu nível terciário de classificação é o distrófico, que possui como característica a baixa fertilidade. Devido sua localização em relevos acidentados o mesmo está mais suscetível aos processos erosivos, com um alto fator K (REIS *et al.*, 2019).

5.4. Resultado do fator LS

A figura 9 apresenta a declividade presente no interior da bacia em estudo, ao mesmo tempo que demonstra os valores encontrados pelo plugin SAGA de maneira automatizada para o fator topográfico LS, calculado a partir de um MDE utilizando a metodologia de Wischmeier e Smith (1978).

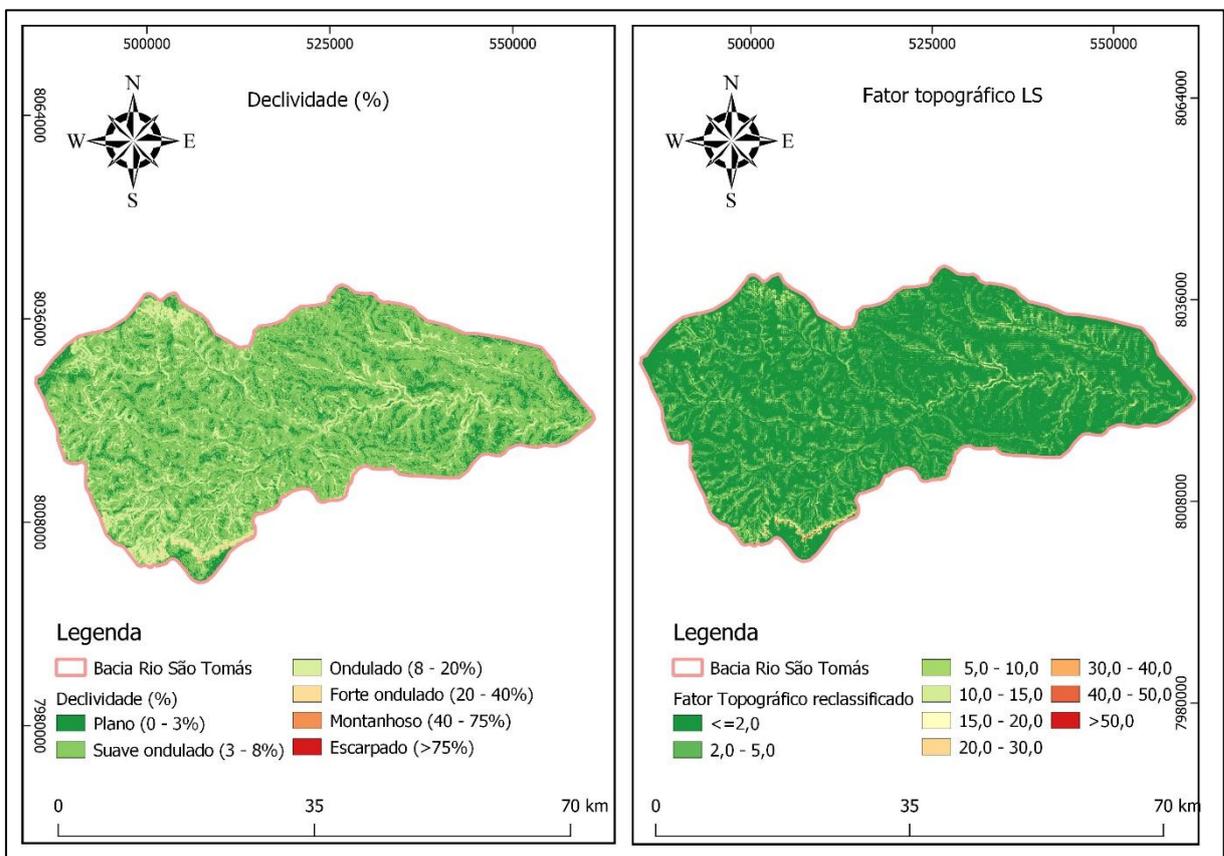


Figura 9: Mapa comparativo entre a declividade e o fator topográfico (LS). **Fonte:** Próprio autor.

Como pode ser observado nas imagens apresentadas acima as classes utilizadas para declividade foram definidas de acordo com a metodologia apresentada pela Embrapa, já referente ao resultado encontrado para o fator LS o mesmo foi reclassificado de modo a facilitar a visualização e compreensão dos valores presentes no mapa, a reclassificação baseou-se no estudo de Fiorese e Torres (2019), que por si só indicam citando Pinheiro et.al (2014) que valores acima de 1,5 são considerados significativos, valores elevados de LS indicam maior propensão de carreamento de sedimentos, sendo mais suscetíveis a erosão.

Com um relevo predominantemente suave ondulado e ondulado os valores para o fator LS apresentam-se baixos, com mais da metade da bacia dominada por um fator topográfico inferior a 2, não apresentando grande vulnerabilidade aos processos erosivos em sua maior parcela de área. A faixa na região sudoeste da bacia apresenta declividades consideradas como forte ondulada e montanhosa, justamente por se tratar de uma região com presença de montanhas, nesta área é notório pela análise da imagem à direita valores ligados ao fator LS sendo superiores a 15, chegando a atingir resultados acima de 50, nesta região deve-se haver planejamentos e controle devido à alta declividade, além de ser uma região ao qual o desenvolvimento da agricultura não é o ideal, visto que a mudança da cobertura vegetal neste ponto podem ser favoráveis ao rompimento do solo.

5.5. Erosão do solo

A taxa de erosão hídrica pertencente a bacia em estudo para os anos de 1985, 2000 e 2022 é resultante da aplicação final da fórmula de perda de solo proposta por Wischmeier e Smith (1978), sendo o resultado final obtido em toneladas por hectares por ano [Ton ha⁻¹ ano⁻¹]. Quanto a divisão em classes das perdas de solo respeita a metodologia adotada pela *Food and Agriculture Organization* – FAO (1980).

O resultado para a avaliação anual de perda de solo utilizando a divisão em classes para interpretação pode ser acompanhado através da tabela 07 apresentada na sequência.

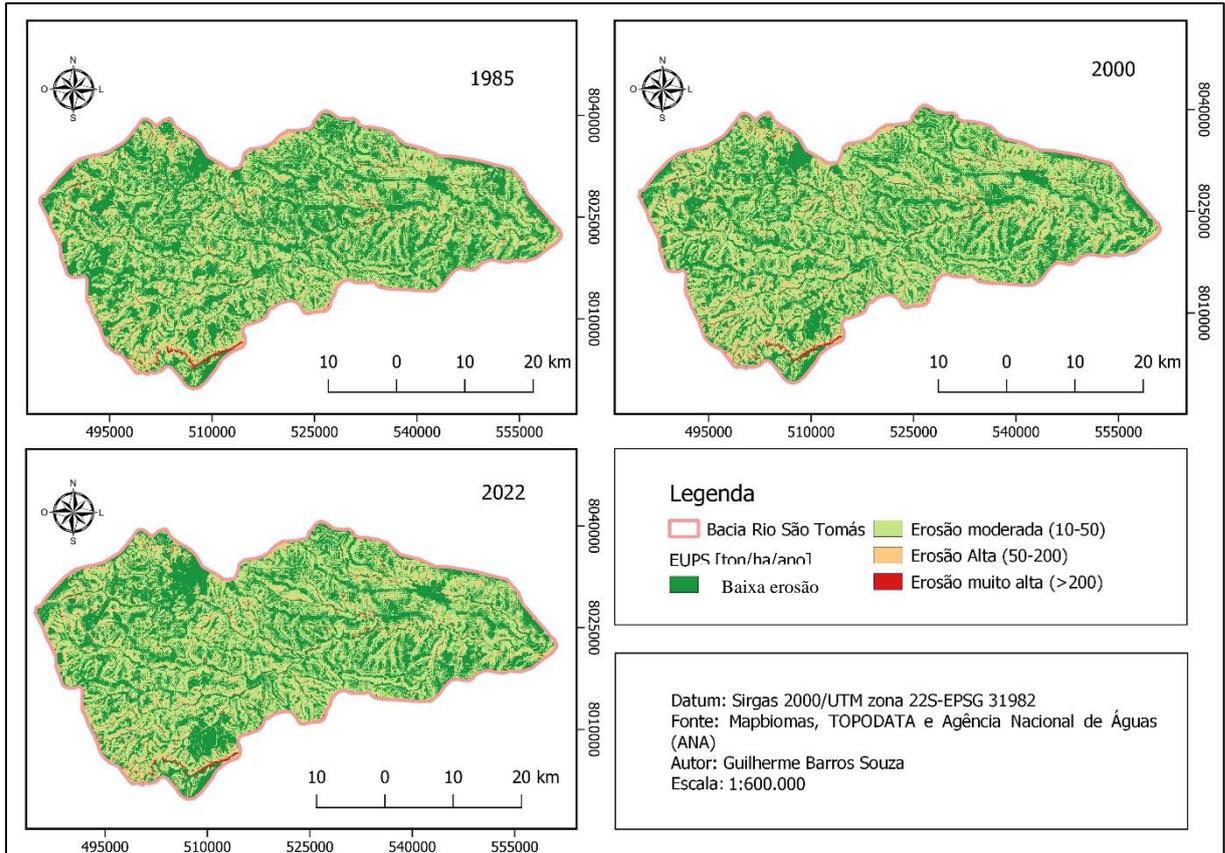


Figura 10: Mapa de suscetibilidade erosiva do solo para a bacia hidrográfica do Rio São Tomás, reclassificado de acordo com a FAO (1980). **Fonte:** Próprio autor.

Tabela 7: Apresentação em quantidade de perda de solo relacionado à área total da Bacia do Rio São Tomás.

Perda de solo [Ton ha ⁻¹ ano ⁻¹]	Classes	Área em hectares de perda de solo		
		1985	2000	2022
<10	Baixa erosão	82157,178	74403,172	76657,109
10 - 50	Erosão moderada	72510,899	79369,564	77870,532
50 - 200	Erosão alta	18119,945	19127,348	18444,617
>200	Erosão Muito alta	953,733	841,902	769,639

Fonte: Adaptado da FAO (1980).

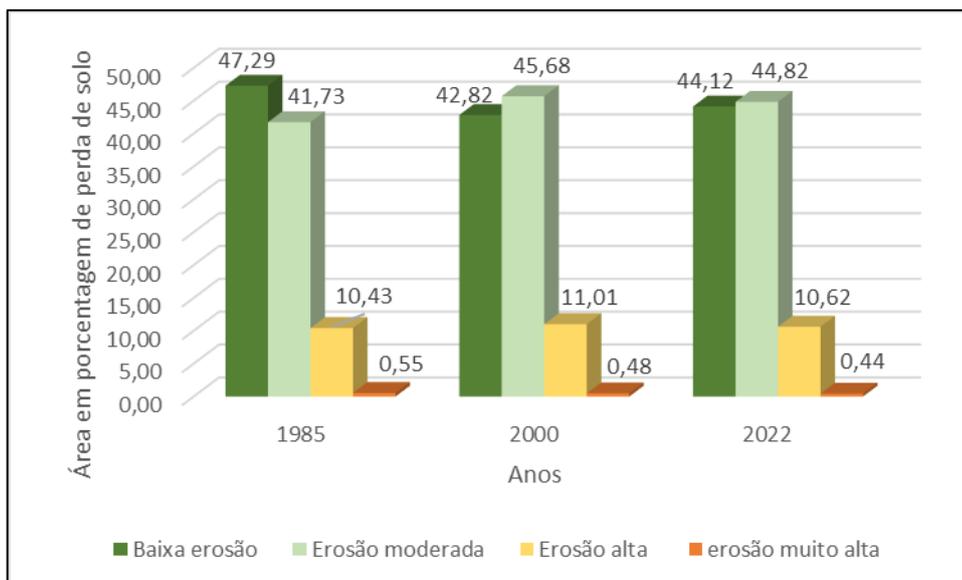


Figura 11: Área em porcentagem de perda de solo. **Fonte:** Próprio autor.

Os resultados da aplicação da EUPS apontam para valores altos em áreas com baixa erosão e erosão moderada para todos os anos analisados, variando de 41% a 48%. Áreas classificadas como baixa erosão estão inseridas em locais aos quais apresentam valores de CP próximos a 0, ou seja, representados pela vegetação e também áreas impermeáveis (zona urbana), relevos planos também indicam áreas sem a presença de processos erosivos, logo locais com um fator topográfico entre 0 e 5 são favoráveis a não ocorrência de rupturas. Xavier et.al (2019) também correlaciona em seu estudo a classe de baixa erosão a valores de CP e LS próximos a 0. O tipo de solo também é um fator determinante da resistência do solo à ação da chuva, latossolos vermelhos distróficos possuem grande resistência, devido as características de porosidade e permeabilidade pertencente ao mesmo.

Os valores para erosão variaram durante os anos analisados, a classes de erosão moderada foram predominantes nos anos de 2000 e 2022, já em 1985 a classe baixa erosão se sobressaiu, relativo a estas duas classes de maior destaque percebe-se um decaimento nos valores, no ano de 1985 ambas as classes representavam juntas 89,02% de todo o território da bacia, já em 2000 a porcentagem passou a ser 88,5% com posterior aumento no ano de 2022 com 88,94% da área. Relativo as classes de erosão alta e muito alta observou-se aumento nas áreas da bacia, no qual referente ao ano de 1985 correspondia a 10,98% da área, já no ano de 2022 o valor passou a ser representado por 11,06%, o aumento dos processos erosivos está relacionado as mudanças nos usos e cobertura da terra, o desenvolvimento da atividade agropecuária, associado ao processo de urbanização e degradação da cobertura vegetal natural do solo, processos advindos da interferência humana, segundo Couto et.al (2018) são influentes diretos na perda do solo.

Áreas de erosão moderada estão predominantes em locais com um fator topográfico mais elevado, características de um relevo suave ondulado e ondulado, ou seja, mais inclinados, o que favorece a velocidade do escoamento superficial da água proveniente das precipitações, possibilitando a ruptura e carreamento do solo.

Para as áreas de erosão alta obteve-se um resultado acima de 10% de área para os três (3) anos em análise, já representando riscos, sendo um valor alto considerando toda a área da bacia. Com o uso de imagens de satélite na observação destes pontos é perceptível processos erosivos em estágio inicial e avançado em certos locais, outro destaque a ser realizado é a proximidade destas zonas aos corpos hídricos o que pode acarretar em problemas ambientais graves, desde o aumento da turbidez dos corpos hídricos até assoreamento do mesmo, cabível o desenvolvimento de práticas de manejo, prevenção e mitigação de processos erosivos nestes pontos. Aqui assim como já apresentado anteriormente para as outras classes de processos erosivos, merece destaque o alto fator topográfico predominante, mas além disso através das imagens de satélite nota-se locais sem cobertura aparente de solo com o mesmo totalmente ou parcialmente exposto, o que é uma problemática favorável a erosão hídrica.

Quanto a erosão muito alta a mesma foi a menos aparente na região de estudo, ocupando menos de 1% da área da bacia, sua presença é perceptível a sudoeste, região com presença de montanhas, o que é extremamente favorável a ocorrência de processos de rupturas, devido principalmente a declividade e inclinação do relevo.

Diante do apresentado percebe-se que a maior influência aos processos erosivos, dentre os fatores envolvidos na metodologia aplicada, trata-se do fator topográfico LS, zonas com índices maiores de suscetibilidade erosiva predominam valores maiores para o fator declividade e comprimento de rampa, como pode ser observado a sudoeste da bacia, fazendo um comparativo entre o mapa do resultado final da EUPS com o mapa de fator topográfico, nota-se que a linha de maiores perdas do solo estão inseridas no mesmo local de um alto fator topográfico. Os fatores K e R apresentaram menor relevância para obtenção do resultado final, o fator CP é perceptível em seus valores próximos a 0, aos quais pertencem a zonas de vegetação, corpos d'água e área urbana, pontos com a presença deste tipo de cobertura da terra ganharam destaque no mapa como zonas de baixa erosão, além disso as mudanças no uso da terra foram influentes na fragilidade do solo, conforme desenvolvido no item a seguir.

5.6. Relação uso da terra x Erosão

A influência do uso e cobertura da terra nos processos erosivos podem ser analisados através da relação entre estas duas vertentes no ambiente de Sistema de Informação Geográfica,

a tabela 08 demonstra os principais resultados obtidos pelo cruzamento entre os dados, os resultados apresentados são referentes a área, cuja unidade representativa é o hectare. Além de obter informações a respeito da influência do uso da terra em erosões, é interessante observar pontos em que uma determinada atividade está inserida de forma que venha a ter um correto manejo do solo na prevenção de processos erosivos oriundos da ação das chuvas.

Tabela 8: Representação do cruzamento de dados entre as classes erosivas e o uso da terra.

Uso do solo sobre fragilidade								
1985								
	Baixa erosão	(%)	Eosão moderada	(%)	Erosão alta	(%)	Erosão muito alta	(%)
Agropecuária	48702,96	28,041	70332,6	40,494	17674,32	10,176	937,75	0,540
Área não vegetada	9892,39	5,696	730,42	0,421	169,23	0,097	2,94	0,002
Corpo d'água	531,06	0,306	44,69	0,026	15,07	0,009	1,56	0,001
Sivilcultura	0	0	0	0	0	0	0	0,000
Vegetação	23011,15	13,249	1109,58	0,639	488,45	0,281	40,7	0,023
Total	82137,56	47,291	72217,29	41,579	18347,07	10,563	982,95	0,566
2000								
	Baixa erosão	(%)	Eosão moderada	(%)	Erosão alta	(%)	Erosão muito alta	(%)
Agropecuária	51457,68	29,627	77642,27	44,703	18836,9	10,845	823,26	0,474
Área não vegetada	3004,57	1,730	82,19	0,047	26,93	0,016	0,69	0,000
Corpo d'água	251,15	0,145	21,56	0,012	5,11	0,003	0,09	0,000
Sivilcultura	2061,1	1,187	176,33	0,102	19,31	0,011	0,43	0,000
Vegetação	17625,13	10,148	1094,77	0,630	509,93	0,294	46,07	0,027
Total	74399,63	42,836	79017,12	45,494	19398,18	11,169	870,54	0,501
2022								
	Baixa erosão	(%)	Eosão moderada	(%)	Erosão alta	(%)	Erosão muito alta	(%)
Agropecuária	50968,62	29,345	76030,65	43,775	18133,41	10,440	744,97	0,429
Área não vegetada	5254,98	3,026	164,98	0,095	45,73	0,026	1,99	0,001
Corpo d'água	318,79	0,184	22,08	0,013	3,98	0,002	0,09	0,000
Sivilcultura	3173,36	1,827	299,65	0,173	30,14	0,017	0,95	0,001
Vegetação	16926,41	9,745	1014,05	0,584	502,39	0,289	48,15	0,028
Total	76642,16	44,127	77531,41	44,639	18715,65	10,776	796,15	0,458

Fonte: Próprio autor

Observa-se que as áreas com a presença de vegetação natural, corpo d'água, sivilcultura e zonas urbanas estão inseridas predominantemente em locais aos quais a suscetibilidade erosiva é baixa caracterizada neste estudo como áreas de erosão fraca, este fato é decorrente da ação de interceptação que a vegetação de diferentes tamanhos proporcionam através da redução na velocidade de impacto das gotas de chuvas no solo evitando rupturas devido a energia cinética proveniente da precipitação, além disso o material orgânico originado da vegetação forma uma barreira física agindo como uma manta protetora do solo, com a ação de interceptação há a redução do processo de escoamento superficial e favorecimento de infiltração de água no solo, por consequência haverá diminuição de sedimentos escoados e controle dos

processos erosivos, ao mesmo tempo que o processo de infiltração auxilia no reabastecimento da água subterrânea gerando maior controle da qualidade e quantidade de água existente no interior da bacia, conforme apontado também nos estudos hidrológicos realizados pelo Rodrigues et.al (2015).

Esta classe apresentou decréscimo ao longo do tempo, observando o ano de 1985 tem-se uma área de 82137,56 hectares de ocupação da parcela baixa erosão na bacia, comparando – a com o ano de 2022 ao qual apresenta uma área total de 76642,16. Quando relacionado com o uso e ocupação do solo é perceptível que houve também no período analisado redução da vegetação bem como do corpo d'água, coberturas do solo que são essenciais em sua conservação como denotado no parágrafo anterior e que claramente foram fatores preponderantes na menor incidência da classe em análise.

Referente a agropecuária é notório sua predominância na bacia ocupando mais da metade do território da bacia, com o estado de erosão para esta atividade em maior concentração no tipo erosão moderada com mais de 40%, seguida pela parcela baixa erosão com valores acima de 28%, em terceiro a erosão caracterizada como alta com 10% e por fim com menos de 1% a representação da erosão muito alta.

Culturas anuais de plantio, como a soja e o milho que são predominantes na região, oferecem ao solo maior agregação e proteção, principalmente devido ao desenvolvimento raticular das plantas e cobertura folicular densa e homogênea, o que gera posteriormente resíduos orgânicos sobre o solo. Entretanto como forma de conservação do solo o plantio destas culturas deve ser realizado através de um manejo adequado do mesmo, o revolvimento anual do solo e utilização de grades niveladoras são apontadas pela Embrapa (2021) como práticas de manejo inadequadas que acabam por favorecer o processo de erosão, o ideal é a instalação de um plantio direto com a utilização de práticas conservacionistas do solo, a fim de evitar perdas tanto do solo quanto da água.

Em um estudo desenvolvido pelo Almeida et.al (2016) demonstra positividade na redução de perda de solo quando o mesmo apresentava restícios da cultura antecessora em relação a um solo descoberto e sem cultivo, a forma de plantio também influenciou na redução de perda de solo e água, sendo o plantio realizado transversalmente ao declive atuando como uma barreira para o escoamento superficial diminuindo a velocidade do mesmo e proporcionando aumento na infiltração do local, chegando a preservar até 50% das perdas em comparação ao plantio feito seguindo o declive, conhecido como plantio “morro abaixo, morro acima”.

As pastagens seguem a mesma premissa relativo as culturas de plantio anual apresentadas anteriormente, quando as mesmas são corretamente manejadas fornecem cobertura, maior agregação das partículas do solo e resistência a suscetibilidade erosiva pela ação das chuvas, o que é visto na bacia em estudo são áreas de pastagem bem desgastadas com o solo parcialmente ou totalmente exposto, o que pode ser um ponto de alerta para o crescimento da perda de solo nestas áreas.

Quanto a evolução dos processos erosivos relacionado a atividade de agropecuária, percebe-se que a mesma possui grande influência no processo de perda do solo, visto que com o desenvolvimento desta atividade no interior da bacia houveram também aumento na propensão a erosão, principalmente ligadas a erosão moderada e a alta erosão, que juntas chegaram a apresentar 55,42% de ocupação do território para o ano de 2022. Considerando o cenário da agropecuária se teve um aumento de 8,1% nas taxas de perda de solo do ano de 1985 a 2022, valor que chegou a atingir crescimento de 10% relacionando os anos 1985 e 2000.

A vegetação apresentou os menores índices de perda de solo, sendo o segundo tipo de uso de solo com maior predominância na bacia, houveram reduções da ocorrência de erosões do tipo moderada a muito alta nos pontos ocupados pelas vegetações, de 1985 a 2022 obteve-se uma redução de 4,5% da suscetibilidade erosiva, e do ano de 2000 a 2022 a redução chegou a 5,2%.

Diante do apresentado é notável que a probabilidade de ocorrência de uma erosão moderada é dominante no local, juntamente com a atividade de agropecuária, inclusive apresentando grande parte em zonas de crescente possibilidade erosiva, sendo assim tendo em mente que a fragilidade do solo é decorrente principalmente da topografia do local, o cultivo deve ser realizado levando em consideração práticas conservacionistas que evitem a ruptura dos solos, principalmente voltadas a declividade do local com o plantio realizado em contorno com a construção de curvas de nível e terraceamento, buscando a redução do escoamento o máximo possível, favorecendo ao mesmo tempo o processo de infiltração, da mesma forma as pastagens devem ter o manejo adequado através do uso de piquetes de forma que evite o desgaste completo das gramíneas tanto pelo consumo excessivo quanto pelo pisoteamento provocado pelos animais, com esta forma de controle a vegetação terá o tempo necessário para recuperação impedindo a ocorrência de um solo exposto com alto risco de suscetibilidade erosiva (PIROLI, 2022; ALMEIDA *et al.*, 2016).

5.7. Estudo das Áreas de Preservação Permanente

Para a análise estatística das Áreas de preservação Permanente existente no interior da bacia foram utilizados os dados de uso e ocupação do solo dos anos de 1985, 2000 e 2022 disponibilizados pelo Mapbiomas, através dos mesmos foi-se traçado uma análise temporal com o objetivo de identificar zonas de interferência ao mesmo tempo em que se avalia uma possível degradação da vegetação nestas áreas protegidas. Para definição da APP foi considerado a Lei Federal 12.651/2012, ao qual define as distâncias mínimas de proteção destas áreas de acordo com a largura do corpo hídrico, para a bacia em estudo foram identificadas duas distâncias mínimas de vegetação para os rios existentes, de 30 e 50 metros, sendo a última pertencente ao rio São Tomás, ou seja, ao rio principal.

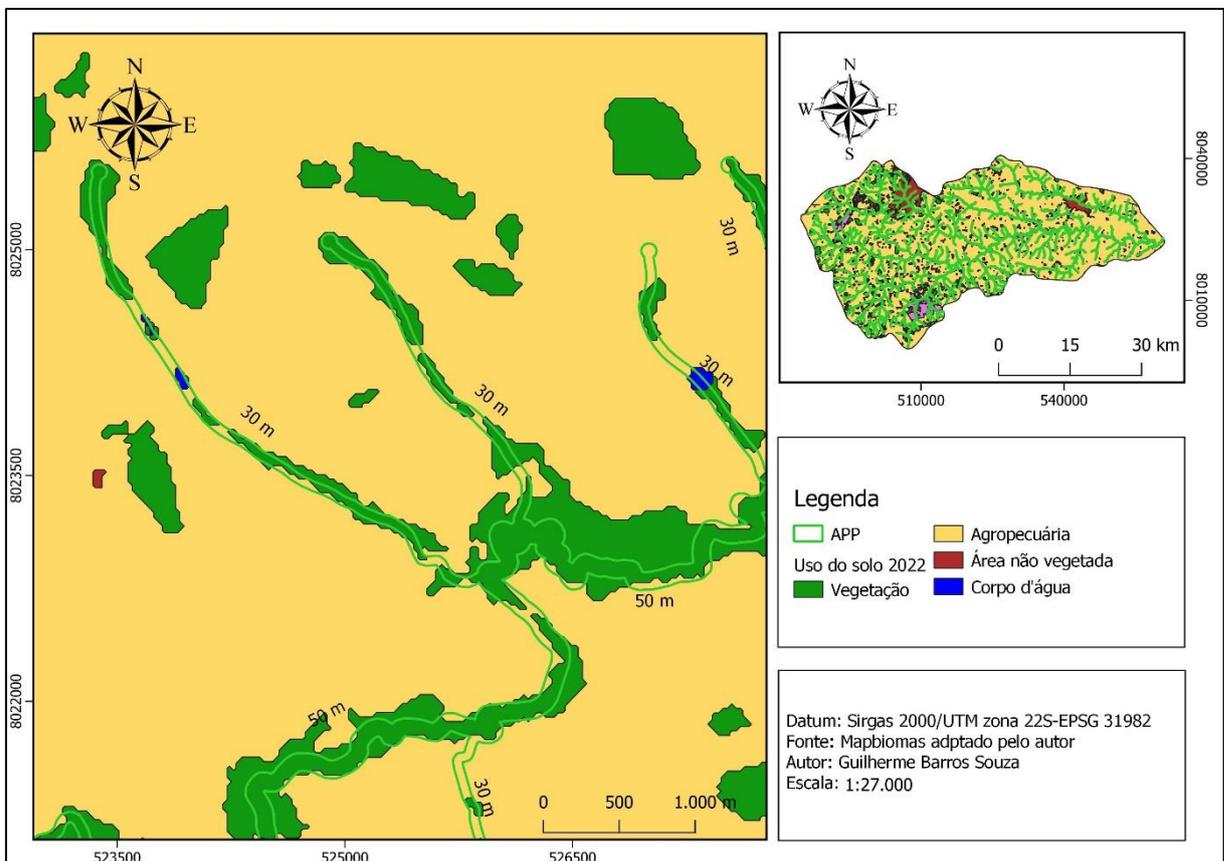


Figura 12: Representação das áreas de preservação permanente mapeadas no interior da bacia. **Fonte:** Próprio autor.

Diante do apresentado a Bacia Hidrográfica do Rio São Tomás deveria apresentar um total de 7884,258 hectares destinados a área de vegetação preservada no entorno dos corpos hídricos, conforme descrito na Lei Federal de 2012, no entanto através da tabela 9 e da figura 13 apresentado na sequência percebe-se a confrontação entre as APPs com os tipos de usos e cobertura da terra para com os anos de 1985, 2000 e 2022 escolhidos para a análise neste estudo.

É interessante ressaltar que os anos de 1985 e 2000 são antecedentes a criação e disseminação do Código Florestal adotado em 2012, nestas datas predominavam outros pontos de vista sobre a proteção destas áreas baseadas nas leis 4.771/65 e 7.803/89, que apresentavam outras definições bem como outros valores de faixa de proteção dos cursos d'água.

Tabela 9: Áreas de Preservação Permanente em Relação ao Uso da terra para os anos de 1985, 2000 e 2022.

Classes de uso	Ano					
	1985		2000		2022	
	Área [há]	Área [%]	Área [há]	Área [%]	Área [há]	Área [%]
Vegetação (1)	4078,532	51,73	4731,771	60,02	4860,237	61,64
Silvicultura (2)	0	0,00	21,013	0,27	22,025	0,28
Agropecuária (4)	3314,508	42,04	2952,111	37,44	2775,979	35,21
Área não vegetada (5)	91,184	1,16	31,42	0,40	64,377	0,82
Corpo d'água (6)	400,03	5,07	147,947	1,88	161,633	2,05
Total	7884,254	100	7884,262	100	7884,251	100

Fonte: Próprio autor

A atividade de silvicultura não era presente na bacia em 1985, logo não havia influência da mesma sobre as APPs, entretanto nos anos subsequentes houveram conflitos das mesmas sobre estas áreas, ocupando uma área de cerca de 0,27% para o ano de 2000 com posterior crescimento no ano de 2022 com 0,28% de ocupação, representando 22,025 hectares, devido ao desenvolvimento da atividade na bacia.

A atividade de agropecuária representava em 1985 42,04% da área, com 3314,508 hectares, chegando a 35,21% de predominância no ano de 2022 com redução de cerca de 16,24% de invasão em 37 anos.

A superfície ocupada pelo corpo d'água obteve-se redução nos anos de 1985 e 2000, com um pequeno aumento para o ano de 2022, justificado por Silva et.al (2016) em seu estudo, ao qual define que esta redução é decorrente do clima local, períodos de estiagem presentes durante o inverno, geralmente de maio a outubro, possuem forte influência sobre as vazões dos corpos hídricos.

A área não vegetada, geralmente influenciada pela ação antrópica com presença de um solo exposto em sua maioria, obteve decréscimo ao longo do tempo com ocupação em transição de 1,16% no ano de 1985 para 0,4% no ano de 2000 e 0,82% para o ano de 2022.

Já um ponto positivo observado no estudo destas áreas foi o aumento durante o período analisado na presença de vegetação, indicando 61,64% de predominância no ano de 2022, valor superior a data de 1985 ao qual a existência da cobertura vegetal representava apenas 51,73% da área. Diante deste fato, mesmo ainda sendo um valor abaixo do esperado para uma área que deve ser totalmente ocupada pela vegetação, percebe-se um alto grau de preservação quando comparado aos anos antecessores, o que implica em uma baixa taxa de desmatamento e desgaste destas áreas pela ação humana, além da recuperação destes pontos com o uso de árvores frutíferas e espécies de outros biomas. A figura 13 apresentado a seguir evidência as taxas de preservação natural das APPs durante os anos analisados.

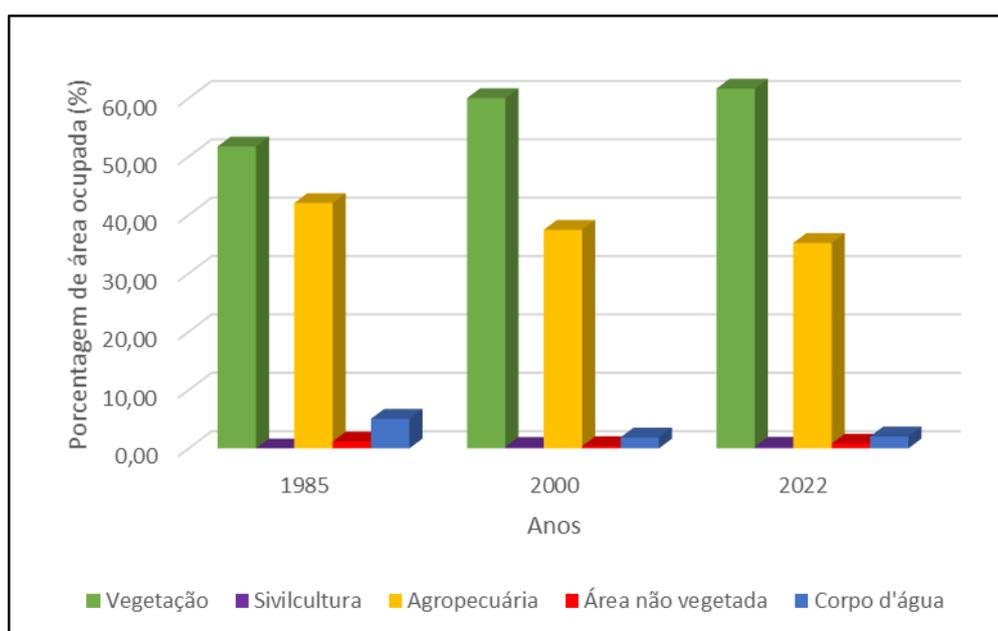


Figura 13: Comparativo entre o uso da terra e as faixas de proteção dos cursos hídricos. **Fonte:** Próprio autor.

É notório a influência do uso e cobertura da terra sobre a preservação das Áreas de Preservação Permanente. De maneira geral em 1985 já existia indícios de degradação, proporcionado principalmente pela presença de pastagens e atividades agrícolas na região, no entanto em 37 anos o processo de degradação apresentou uma alta taxa de redução, devido principalmente ao novo Código Florestal do ano de 2012 e ao avanço de políticas regionais de proteção destas áreas, além da redução de atividades pastoris que costumavam invadir estas áreas.

O aumento na presença de cobertura vegetal demonstra um ponto positivo na evolução da preservação destas áreas que são de extrema importância no controle da qualidade hídrica

além da garantia do equilíbrio do ecossistema, no entanto encontra-se longe de atingir a perfeição, com grande parcela degradada pela atividade de agropecuária, ao qual merecem atenção por parte do poder público traçando planos de conservação e preservação destes fragmentos em conflitos.

6. CONCLUSÃO

Através dos resultados apresentados anteriormente pode-se inferir que houveram severas mudanças no que tange ao uso e ocupação do solo durante os períodos analisados, principalmente ligado a agropecuária ao qual obteve um crescente desenvolvimento na área estudada, pontos ocupados pela vegetação, áreas não vegetadas e corpos d'água em termos de perdas, cederam a maior parte de sua ocupação para o desenvolvimento da atividade agropecuária, enquanto a vegetação dentre as atividades foi a que mais demonstrou perdas de sua área de ocupação na bacia, se sobressaindo com um saldo negativo relativo aos ganhos sobre as perdas.

Referente aos processos erosivos percebe-se dentre os três anos avaliados a predominância de parcelas sem suscetibilidade erosiva e erosão moderada, apesar da grande influência do relevo nos processos erosivos é notório que as mudanças no uso e ocupação do solo tiveram grandes impactos no aumento da probabilidade de ocorrência na degradação do solo, visível nos anos de 1985 a 2000, ao qual a expansão da agropecuária foram influentes diretos para o crescimento de áreas de erosão moderada, pontos aos quais tal atividade se encontra inserida em sua maior concentração, este fato demonstra a importância e a necessidade de um manejo adequado do solo durante o processo de cultivo das lavouras.

A mudança no uso e cobertura da terra também foi influente nas Áreas de Preservação Permanente, no entanto houveram evoluções positivas da vegetação nestas zonas de preservação, possivelmente advindas da maior preocupação regional e nacional referente aos recursos hídricos, no entanto ainda é perceptível zonas de conflitos destas áreas que deveriam ser totalmente ocupadas pela vegetação nativa sendo afetado em sua maior parte pela atividade de agropecuária, com parcelas de 35% a 42% de invasão.

7. REFERÊNCIAS

Agra, R. M. R. T.; Andrade, C. D. **Análise Multicritério da Suscetibilidade à Erosão na Bacia Hidrográfica do Rio da Batateira, CE**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 73, n. 1, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.14393/rbcv73n1-50066>>. Acesso em 15 de março de 2024.

Almeida, W. S. *et al.*, **Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivos e níveis de cobertura do solo**. Scientific Eletronic Library Online Brasil, Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 51, n. 9, set. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900010>>. Acesso em 13 de março de 2024.

Almeida, P.; Nogueira, J. F. F. **Crise hídrica: a resiliência dos biomas brasileiros diante das mudanças climáticas: para além dos ciclos naturais, como a influência humana agrava o problema da crise hídrica no país**. Revista Ciência e Cultura, v. 75, n. 4, Out./Dez. 2023. São Paulo, 2023. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5935/2317-6660.20230060>>. Acesso em 23 de maio de 2024.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Rede Hidrometeorológica Nacional – HIDROWEB**. Site, 2024. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb>>. Acesso em 15 de abril de 2024.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Impacto das mudanças climáticas nos Recursos Hídricos do Brasil**. Metadados da ANA. Brasília, 2024. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br>>. Acesso em 23 de maio de 2024.

Angelini, P. C. B. **Efeitos do uso do solo sobre o balanço de radiação e energia em Cuiabá – MT**. 2020. 96 f. Tese (Doutorado em física Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física. Cuiabá, 2020. [<https://ri.ufmt.br/handle/1/3678>]

Back, Á. J. **Estimativas de perdas de solo por erosão hídrica por meio da Equação Universal de Perdas de Solo**. Florianópolis: Epagri, 2023. 80 p. ISSN 2674-9513 (On-line).

Baptista, G. M. M.; Eid, N. J.; Oliveira, A. L. **Mapa de erodibilidade (fator K da USLE) da Unidade Hidrográfica de Gerenciamento Lago Descoberto – DF**. Sociedade & Natureza, v. 8, n. 15, jun. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.14393/SN-v8-1996-61814>>. Acesso em 24 de abril de 2024.

Baptista, G. M. M. **Diagnóstico ambiental de erosão laminar: modelo geotecnológico e aplicação**. Brasília: Universa, 2003. 140 p.

Barbosa, A. F.; Oliveira, E. F.; Paranhos Filho, A. C.; Miotto C. L. **Aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (USLE) em softwares livres e gratuitos.** Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, v. 38, n. 1, p. 170-179, Out. 2015.

Barbosa, A. H. S.; Carvalho, G. R.; Camacho, R.G.V. **Aplicação do NDVI para a Análise da Distribuição Espacial da Cobertura Vegetal na Região Serrana de Martins e Portalegre – Estado do Rio Grande do Norte.** Revista do Departamento de Geografia, v. 33, p.128-143. 2017.

Barbosa, J. M. C.; Pinto, M. R.; Holanda de Castro, M. A. **Erosão e assoreamento em reservatórios.** ABRHidro, out/dez. 2014. Natal, 2014.

Bias, E. S.; Pivelo, L.; Guedes, S. C.; Rocha, K. C. **Análise da eficiência da vegetação no controle do escoamento superficial: uma aplicação na bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu, DF.** Periódicos da Universidade Estadual Paulista, Geociências, v. 31, n. 3, p. 411-429, 2012. São Paulo, 2012.

Brasil. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

Brasil. Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012.

Brasil. Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965.

Brasil. Lei Federal nº 7.754, de 14 de abril de 1989.

Carvalho, A. T. F. **Bacia Hidrográfica como unidade de planejamento: Discussão sobre os impactos da produção social na Gestão de Recursos Hídricos no Brasil.** Caderno Prudentino de Geografia, v.1, n. 42, p. 140-161, jan/jun. 2020. Presidente Prudente, 2020.

Campos, S. *et al.*, **Geoprocessamento Aplicado no Planejamento de Bacias Hidrográficas** [On-line]. Atena editora, 137 p. ISBN: 978-85-7247-407-8. Ponta Grossa, 2019.

Campos, S. *et al.*, **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao uso da terra em microbacias hidrográficas, Botucatu – SP**. Scientific Electronic Library Online Brasil, Engenharia Agrícola, v. 24, n. 2, ago. 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-69162004000200023>>. Acesso em 12 de abril de 2024.

Carneiro, G. T. *et al.*, **Cobertura Florestal do Município de Rio verde, go: Estrutura e Composição da Paisagem Entre 2005 e 2008** – Ateliê Geográfico, v. 36, n. 2, p. 335-357, mai./ago. 2011. Rio Claro, 2011.

Caten, A. T.; Minella J. P. G; Madruga, P. R. A. **Desintensificação do uso da terra e sua relação com a erosão do solo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, n. 9, set. 2012. [<https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000900012>]

Carvalho de Cerqueira, F. **Sistema de Coordenadas UTM**. Revista Tecnologia, p. 47-49, dez. 1991.

CETESB. **O problema da escassez de água no mundo**. Governo de São Paulo, 2024. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/tpos-de-agua/o-problema-da-escasez-de-agua-no-mundo/>>. Acesso em 28 de maio de 2024.

Coutinho, L. M. *et al.*, **Cálculo do fator LS da Equação Universal de Perdas do Solo (EUPS) para a bacia do Rio da Prata, Castelo – RS**. Revista Agro@mbiente On-line, v. 8, n. 1, p. 01-09, Jan./abr. 2014. Boa Vista, 2014.

Couto Júnior, A. A.; Conceição F. T.; Fernandes, A.M. **As mudanças no uso da terra e suas influências nas taxas de perdas de solo na depressão periférica Paulista**. In: XII Simpósio Nacional de Geomorfologia, maio 2018, Crato – CE. Anais. São Paulo, 2018.

Embrapa. **Agência de informações tecnológicas**. Site, 2024. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/inicial>>. Acesso em 22 de março de 2024.

Endres, P. F.; Pissarra, T. C. T.; Borges, M. J.; Politano, W. **Quantificação das classes de erosão por tipo de uso do solo no município de Franca – SP**. Scientific Eletronic Library Online Brasil, Topografia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, v. 26, n. 1, Abr. 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-69162006000100022>>. Acesso em 12 de maio de 2024.

Fiorese, C. H. U.; Torres, H. **Estimativa do fator topográfico (LS) da Sub-Bacia hidrográficada Córrego Paraíso, zona rural de Muniz Freire (ES)**. In: 30° Seagro: Ciência e Tecnologia Inovando o Campo, set. 2019, Alegre-ES. Anais. 2020.

Francisco, P. R. M.; Santos, D.; Silva, V. F.; Ribeiro, G. N. **Potencial natural de erosão e limite de tolerância de perda de solo na bacia hidrográfica do açude do Namorado, Paraíba**. Revista GEAMA – Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology, v. 7, n. 3, p. 36-48, dez. 2021.

Francisco, A. B. **A erosão de solos no extremo oeste paulista e seus impactos no campo e na cidade**. Revista GEAMA, v. 2, n. 2, 2011. Publicado em 2021.

Galdino, S. **Distribuição espacial da erosividade da chuva no Estado de Goiás e no Distrito Federal**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 29/ Embrapa, 1º ed., 19 p. Campinas, 2015.

Giovani, A. **UTM Sirgas 2000?** Site, 2021. Disponível em: <<https://adenilsongiovani.com.br/blog/utm-sirgas-2000-converter-coordenadas/>>. Acesso em 28 de maio de 2024.

Guedes, F. C.; Viegas, J. A.; Aguiar, M. C. P. **Application of the Universal Soil Loss Equation (USLE) in the Córrego Carneirinhos Urban Basin, in the city of João Monlevade – MG**. Research, Society and Development, v. 11, n. 7, p. e40411730094, 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i7.30094>>. Acesso em 12 de maio de 2024.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B (1995). **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

Guerra, A.; Cunha, S. B. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

Guilherme, A. P. *et al.*, **Uso de índice de vegetação para caracterizar a mudança no uso do solo em Coari – AM**. *Sociedade & Natureza*, v. 28, n. 2, ago. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1982-451320160209>>. Acesso em 13 de maio de 2024.

Hernani, L. C. *et al.*, **Erosão e seu impacto**. Embrapa solos, cap. 5, p. 47-60. Rio de Janeiro, 2002.

Hott, M. C. *et al.*, **Método para determinação automática de Áreas de Preservação Permanente em Topos de Morros para o Estado de São Paulo, com base em geoprocessamento**. Embrapa, 1º ed., 32 p., 2004.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. Site, 2024. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em 15 de março de 2024.

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. **Agrometeorologia - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Site, 2024.

Ioris, A. **Desenvolvimento nacional e gestão de Recursos Hídricos no Brasil**. *Revista Crítica de Ciências Sociais*, n. 85, p. 23-41, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.4000/rccs.329>>. Acesso em 22 de maio de 2024.

Lima, L. S. C. **Fatores R, K e C da USLE e a avaliação das perdas de solo e escoamento superficial em Argissolo**. 2020. 182 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2020. [<http://hdl.handle.net/10183/233183>]

Lima, J. E. F. W. **Recursos Hídricos no Brasil e no Mundo**. Embrapa Cerrados, 1º ed., n. 33, 46 p. Planaltina –DF, 2001.

Lopes, J. A. A.; Bias, E. S.; Ribeiro, R. J. C. **Aplicação da USLE para avaliação de perdas de solo no município de Águas Lindas de Goiás – GO**. Revista Geografia, Rio Claro, v. 34, n. 2, p. 347-369, mai./ago. 2009.

MapBiomias Brasil. **Mapas de coleções uso do solo**. Site, 2022. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>>. Acesso em 15 de março de 2024.

Marioti, J. *et al.*, **Erosão hídrica em semeadura direta de milho e soja nas direções da pendente e em contorno ao declive, comparada ao solo sem cultivo e descoberto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 37, n. 5, out. 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000500025>>. Acesso em 13 de maio de 2024.

Martins, A. P.; Galvani, E. **Relação entre uso e cobertura da terra e parâmetros biofísicos no Cerrado Brasileiro**. Revista do Departamento de Geografia, v. 40, p. 148-162, 2020. Disponível em: <[10.11606/rdg.v40i0.167739](https://doi.org/10.11606/rdg.v40i0.167739)>. Acesso em 03 de abril de 2024.

Medrado, P. S.; Rodrigues da Silva, A.; Souza, E. O. **Acabou a água? Uma proposta de estudo analítico sobre uma possível crise hídrica no Brasil**. In: II Simpósio Sul-Americano de Pesquisa em Ensino de Ciências, out./nov. 2023. Cerro Largo, 2024.

Minella, J. P. G.; Merten, G. H.; Reichert, J. M.; Santos, D. R. **Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, n. 6, dez. 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600039>>. Acesso em 13 de maio de 2024.

Nascimento, N. S. **Efeito das fases do Enos na dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura do solo em região savânica do Brasil-Central**. 2023. 35 f. Monografia (Bacharelado Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Goiás, Campus Sudoeste, Unidade Universitária Santa Helena de Goiás. Santa Helena de Goiás, 2023. Disponível em: <<https://repositorio.ueg.br/jspui/handle/riueg/2721>>. Acesso em 28 de abril de 2024.

Nery, C. V. M.; Moreira, A. A.; Fernandes, F. H. S.; Praes de Almeida, R. **Uso do Sensoriamento Remoto na Detecção de Mudanças na Microrregião de Montes Claros/MG**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 07, n. 01, p. 130-145, 2014.

Nunes, N. C. **Análise espaço-temporal da erosão hídrica em Bacias Hidrográficas no Sudoeste de Goiás**. 2020. 63 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde – GO. Rio Verde, 2020. [<https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/1211>]

ONU. Organização das Nações Unidas. **Crise hídrica global lança países em busca por novas fontes de água**. ONU News, site 2024, disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2024/01/1826487#:~:text=Hoje%2C%20%2C4%20bilh%C3%B5es%20de,a%20situa%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A9%20considerada%20cr%C3%ADtica>>. Acesso em 23 de maio de 2024.

Pereira, L. S.; Angelini, L. P.; Danelichen, H. M.; Gomes, L. F. **Avaliação espaço-temporal da transformação do uso e ocupação da terra e seus impactos na temperatura da superfície em Rio Verde – GO**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 17, n. 1, p. 494-907, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.1.p494-507>>. Acesso em 28 de abril de 2024.

Pereira, M. A. B. *et al.*, **Qualidade hídrica da Cachoeira do Rio São Tomás, no município de Rio Verde, Goiás, Brasil**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 13, n. 01, p. 377-390, 2020.

Pirolí, E. L. **Águas e Bacias Hidrográficas: planejamento, gestão e manejo para enfrentamento das crises hídricas** [On-line]. Editora Unesp, 141 p. ISBN: 978-65-5714-298-1. São Paulo, 2022.

PONTIUS Jr, R. G.; SHUSAS, E.; MCEACHERN, M. **Detecting important categorical land changes while accounting for persistence**. Agriculture, Ecosystems and Environment, v.101, p. 251-268, 2004.

Portis, G. T.; Santos, S. A.; Nunes, F. G. **Análise espaço temporal da alteração do uso do solo sob influência de um polo gerador de viagens em Goiânia, GO, Brasil.** Ambiente Construído, v. 20, n. 3, jul/set. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300442>>. Acesso em 24 de maio de 2024.

Porto, M. F. A; Porto, R. L. L. **Gestão de Bacias Hidrográficas.** Estudos Avançados, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

Ramos, M. P.; Nóbriga, R. A. A. **Geotecnologias em perícias ambientais: aplicabilidade para estudos em represas de abastecimento e áreas protegidas.** Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v. 11, n. 3, p. 469-484, 2020. Disponível em: <<http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.003.0036>>. Acesso em 24 de maio de 2024.

Reginatto, G. M. P. *et al.*, **Avaliação das perdas de solo utilizando o modelo RUSLE integrado a um SIG.** In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, nov/dez. 2011, Maceió – AL. Anais.

Rodrigues, V. A.; Santori, M. M. P.; Sánchez-Roman, R. M.; Ruiz-Cánales, A. **Avaliação do escoamento e interceptação da água das chuvas.** Irriga, v. 1, n. 1, p. 1-13, jul. 2015. Disponível em: <10.15809/irriga.2015v1n1p01>. Acesso em 22 de abril de 2024.

Rolim da Paz, A. **Hidrologia aplicada.** V. 20, n 1, 138 p. Rio Grande do Sul, 2004.

Rosa, A. M. R.; Guarda, V. L. de M. **Gestão de Recursos Hídricos no Brasil: um histórico.** Revista Direito Ambiental e Sociedade, v. 9, n. 2, p. 197-220, maio/ago. 2019. Disponível em: <<http://www.ucs.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/view/7886>>. Acesso em 13 de maio de 2024.

Serra, L. A. **Análise espaço-temporal das áreas de influência do Terminal Portuário do Itaqui , São Luís – MA: estudo de caso acerca dos sistemas hídricos e das Áreas de Preservação Permanente.** 2024. 89 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em

Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Maranhão. São Luís, 2024. [<https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/tede/tede/5213>]

SIGA. Sistema de Informações Geográficas Ambientais do Estado de Goiás. **Catálogo de dados**. Site, 2024. Disponível em: <<https://siga.meioambiente.go.gov.br/catalogue/#/search/?f=dataset>>. Acesso em 15 de março de 2024.

SIEG. Sistema Estadual de Geoinformação. **Downloads de dados**. Site, 2024. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br/siegdownloads/>>. Acesso em 15 de março de 2024.

Silva de Lima, K. K. *et al.*, **Dinâmica espaço temporal do uso e cobertura do solo na região do MATOPIBA**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 17, n. 1, p. 281-296, 2024.

Silva, V. C. B.; Machado, P. S. **SIG na análise ambiental: suscetibilidade erosiva da bacia hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais**. Revista de Geografia (UFPE), v. 31, n. 2, 2014.

Silva, L. F.; Barbosa, E. H. B.; Cunha, E. R.; Bacani, V. M. **Monitoramento temporal de Áreas de Preservação Permanente em uma Área de Proteção Ambiental**. Geofronter, n. 1, v. 2, p. 16-31, jan./jun. 2016. Campo Grande, 2016.

Silva, M. S. L. **Estudos da erosão**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, jun. 1995. Petrolina, 1995.

Simões da Silva, L. F. *et al.*, **Métodos indiretos de estimativa da erodibilidade de um latossolo vermelho da região de Campinas, SP**. Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente, v. 3, n. 1, p. 51-58, 2016. Araras, 2016.

Soares, C. B. R; Martins, A. P. **A informação geográfica na análise das alterações de uso da terra e cobertura vegetal na microrregião Rio Vermelho (GO)**. Revista Cerrados (Unimontes), v. 21, n. 1, p. 320-349, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.46551/rc24482692202313>>. Acesso em 28 de abril de 2024.

Soprani Júnior, G.; Castro, F. S.; Laporti, J.; Costa Neto, B. **Evolução temporal de processos erosivos em área urbana**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 12, p. 95338-95346, dez. 2020. Curitiba, 2020. [10.34117/bjdv6n12-137]

Souza, E. G. F. *et al.*, **Delimitação e caracterização morfométrica da bacia hidrográficado Riacho do Navio, Pernambuco, a partir de dados SRTM processados no QGIS**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 14, n. 03, p. 1530-1540, 2021.

Toledo, J. A. C. **Relações entre manejo do solo e erosão hídrica: uma revisão bibliográfica**. Revista Craibeiras de Agroecologia, v. 8, n. 1, p. e13255, 2023.

TONELLO, K. C. **Análise Hidroambiental da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões**. Viçosa, Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 2005.

TOPODATA – INPE. **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. Site, 2024. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em 15 de março de 2024.

Torresani, B. D. C. G. *et al.*, **Análise dos reflexos do uso da terra na Fragilidade Ambiental através de técnicas de geoprocessamento aplicadas ao município de Arujá – SP**. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Jan. 2017, Santos – SP. Anais. Arujá, 2017.

Trindade, S. P.; Rodrigues, R. A. **Uso do solo na microbacia do Ribeirão Samambaia e sua relação com a suscetibilidade à erosão laminar**. Revista Geográfica Acadêmica, v. 10, n. 1, p. 163-181, 2016.

TUCCI, C. E. **Hidrologia: Ciência e Aplicação** (4^a ed.). Porto Alegre, Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

Tulio, L. **Características do solo e sua interação com as plantas 2**. Atena Editora, v. 2, 27 p. ISBN: 978-85-7247-717-8. Ponta Grossa, 2019.

Vieira, I. C. B. **Mapeamento da Área de Preservação Permanente na margem norte do rio Itajaí Áçu em área urbana consolidada**. Metodologia e Aprendizado, set. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.21166/metapre.v1i0.641>>. Acesso em 21 de maio de 2024.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw Hill do Brasil, 1975.

Weill, M. de A. M. **Estimativa da erosão do solo e avaliação de seu impacto na microbacia do Ceveiro (Piraciba, SP), através do índice de tempo de vida**. 2020. 114 f. Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 1999. [<https://doi.org/10.11606/T.11.2020.tde-20200111-134844>]

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **A universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning**. 7th International Congress Soil Science, v.1, p.418-425, 1960.

WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. U.S Department of Agriculture, Agr. Handbook, 537:1-58, 1978.

Xiao, Q.; Tao, J.; Xiao, Y, *et al.*, **Monitoring vegetation cover in Chongqing between 2001 and 2010 using remote sensing data**. Research Center for Eco-Environmental Sciences, 2017. [DOI 10.1007/s10661-017-6210-1]