

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL

MARCIANO VOTTRI

**GEOPROCESSAMENTO INTEGRADO À MODELAGEM HIDROLÓGICA PARA O  
DIAGNÓSTICO AMBIENTAL E A QUALIFICAÇÃO DE CENÁRIOS DE USO E  
PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VITORINO-PR**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2018

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL

MARCIANO VOTTRI

**GEOPROCESSAMENTO INTEGRADO À MODELAGEM HIDROLÓGICA PARA O  
DIAGNÓSTICO AMBIENTAL E A QUALIFICAÇÃO DE CENÁRIOS DE USO E  
PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VITORINO-PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional – Área de Concentração: Ambiente e Sustentabilidade.  
Orientador: Prof. Dr. Julio Caetano Tomazoni

PATO BRANCO

2018

V971g Vottri, Marciano.  
Geoprocessamento integrado à modelagem hidrológica para o diagnóstico ambiental e a qualificação de cenários de uso e perda de solo na bacia hidrográfica do Rio Vitorino - PR / Marciano Vottri. – 2018.  
144 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Julio Caetano Tomazoni  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional. Pato Branco, PR, 2018.  
Bibliografia: f. 132 - 140.

1. Bacias hidrográficas. 2. Solos - Conservação. 3. Solos - Erosão. 4. Desenvolvimento sustentável. I. Tomazoni, Julio Caetano, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional. III. Título.

CDD 22. ed. 330

Ficha Catalográfica elaborada por  
Suélem Belmudes Cardoso CRB9/1630  
Biblioteca da UTFPR Campus Pato Branco



## TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº 140

A Dissertação de Mestrado intitulada **Geoprocessamento integrado a modelagem hidrológica para o diagnóstico ambiental e a qualificação de cenários de uso e perda de solo na bacia hidrográfica do Rio Vitorino (PR)**, defendida em sessão pública pelo candidato **Marciano Vottri**, no dia 30 de agosto de 2018, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional, área de concentração Desenvolvimento Regional Sustentável, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional.

### BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Julio Caetano Tomazoni - Presidente – UTFPR

Prof. Dr. Elvis Rabuske Hendges – UNIOESTE

Prof. Dr. Hernan Vielmo - UTFPR

Prof. Dr. Wagner de Aguiar – UTFPR

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Pato Branco, 25 de outubro de 2018.

Carimbo e Assinatura do(a) Coordenador(a) do Programa

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me guiar, iluminar, por me permitir seguir em frente com os meus objetivos e não retroceder diante das dificuldades recorrentes.

Aos meus pais, Disué Divino Vottri e Elsa Rancati Vottri, que por muitas vezes abriram mão dos seus sonhos para que eu pudesse realizar os meus e que me ensinaram os aprendizados mais valiosos de humanidade. Ao meu pai, principalmente pelo exemplo de superação e força de vontade.

Ao meu irmão Marcelo Vottri, pelo apoio e incentivo em todos os momentos.

Ao meu Orientador Professor Dr. Julio Caetano Tomazoni, o reconhecimento e agradecimento pelas contribuições, pela compreensão e entendimento na condução da pesquisa.

A Professora Dra. Cristiane Maria Tonetto Godoy pela pronta disponibilidade em contribuir com o andamento dos trabalhos.

A UTFPR que me permitiu essa realização, pela oportunidade e acolhimento.

Ao corpo docente do PPGDR - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento que com muita sabedoria e comprometimento repassaram seus conhecimentos.

A Prefeitura Municipal de Vitorino, ao Prefeito Juarez Vottri e especialmente aos colegas Valter, Fernando e Olegário da Secretaria Municipal de Agricultura que compreenderam minha ausência, e se dedicaram ainda mais no cumprimento de nossas tarefas.

A todas as pessoas que contribuíram direta e indiretamente nessa construção, me ajudando a trilhar esse caminho, com palavras certas, companheirismo, amizade e compreensão, o meu eterno obrigado.

*[...] O homem amava a terra tanto quanto o banco amava a terra  
O homem admirava o trator, a sua estrutura mecânica, a plenitude de sua força, o  
barulho dos cilindros que detonavam; contudo o trator não era dele.  
Atrás do trator rolava o disco reluzente, cortando a terra com lâminas aguçadas,  
não arando, mas cortando como faca de cirurgião, repuxando a terra cortada para a direita,  
onde uma segunda fileira de lâminas cortava-a mais ainda e depois lançava-a à esquerda;  
lâminas brilhantes, polidas pela terra triturada.  
E depois, lançada para trás, a terra triturada misturava-se às grades de dentes de  
ferro, de maneira que os pequenos torrões que ainda existiam ficavam também triturados e a  
terra toda ficava reduzida a uma areia fina.  
Atrás das grades dentadas, as sementeiras alongadas - doze ganchos recurvos de  
ferro – giravam metodicamente, giravam sem paixão.  
O homem ficava sentado no seu assento de ferro e sentia-se orgulhoso com os sulcos  
que traçava na terra, orgulhoso do trator que não lhe pertencia e  
que não amava afinal, orgulhoso da força que não podia manietar.  
E quando a safra progredia e a colheita terminava nenhum homem pegava num  
punhado de terra quente e deixava a terra escorrer entre os dedos.  
Nenhum homem tocava nas sementes ou sentia alegria com a safra.  
Os homens comiam aquilo que não tinham plantado; não tinham amor ao pão que comiam.  
A terra produzira pelo efeito do ferro e sob os efeitos do ferro morria gradualmente;  
não era amada, nem odiada, nem adorada, nem amaldiçoada ..."*

*(As Vinhas da Ira - John Steinbeck, 1939)*

## RESUMO

O desenvolvimento sustentável visa abranger, de forma equitativa, três elementos: o social, o ambiental e o econômico, tendo como objetivo central atender às necessidades da sociedade atual sem comprometer a vida das gerações futuras. A erosão dos solos pela ação das chuvas e o assoreamento dos cursos d'água têm sido agravados pelo uso, manejo e ocupação incompatíveis, favorecendo a ocorrência de graves impactos ambientais, sociais e econômicos. Nesse contexto, a pesquisa objetivou realizar o diagnóstico socioambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Vitorino-PR (BHRV), analisando a influência da variação do uso e ocupação do solo relacionada com as perdas de solo. Os resultados foram obtidos a partir da análise integrada dos principais indicadores ambientais relacionados aos processos de degradação do solo por erosão, associados ao geoprocessamento e à modelagem hidrológica, apresentados por meio de mapas temáticos. A pesquisa demonstrou que o modelo de produção agrícola vigente apresenta fragilidades quanto à conservação do solo. As análises socioambiental e de percepção apontaram uma correlação direta aos passivos ambientais, porém insuficientes para impor uma alteração de conduta do homem em relação aos problemas expostos. As características pedológicas, geográficas, bem como de uso e ocupação do solo apresentaram elevada influência nos processos erosivos, influenciando diretamente o escoamento superficial a produção de sedimentos conforme suas variações. O diagnóstico hidrossedimentológico demonstrou perdas de solo variando de 3,86 a 42,71 ton/ha/ano, para o uso atual ao passo que para o cenário projetado a variação foi de 1,26 a 12,45 ton/ha/ano e taxas médias de perdas de solo de 18,72 para 6,45 ton/ha/ano do uso atual para o cenário projetado. Apesar da escassez de dados de entrada, e de se tratar de uma Bacia Hidrográfica não instrumentada, o geoprocessamento associado à modelagem hidrológica demonstrou elevada capacidade de gerar informações potencias para gestão ambiental. Diante disso, a abordagem da paisagem sob a dinâmica de bacias hidrográficas de forma integrada e sistêmica à ocupação antrópica permitiu apontar que a metodologia aplicada é de suma importância para garantir a preservação e conservação dos diversos ecossistemas, propiciando atividades que compactuam com a sustentabilidade em longo prazo.

**Palavras-chave:** bacia hidrográfica; conservação do solo; erosão do solo; modelagem hidrológica; sustentabilidade.

## ABSTRACT

Sustainable development aims at equitably encompass three elements: social, environmental and economic, with the central objective of meeting the needs of today's society without compromising the lives of future generations. Soil erosion due to water action and sedimentation to water courses has been aggravated by incompatible use, management and occupation, favoring the occurrence of serious environmental, social and economic impacts. In this context, the research aimed to perform the social environmental diagnosis of the Vitorino River Basin PR (BHRV), analyzing the influence of the variation of land use and occupation related to soil losses. The results were obtained from the integrated analysis of the main environmental indicators related to soil degradation processes due to erosion associated with geoprocessing and hydrological modeling presented through thematic maps. The research showed that the current model of agricultural production presents weaknesses in soil conservation. The socioenvironmental and perception analysis pointed to a direct correlation to the environmental liabilities but insufficient to impose an alteration of man's behavior in relation to the problems exposed. The pedological, geographic and soil use and occupation characteristics showed a high influence on the erosive processes, directly influencing the surface runoff and sediment production according to their variations. The hydrosedimentological diagnosis showed soil losses varying from 3.86 to 42.71 t / ha / year, for the current use, while for the projected scenario the variation was 1.26 to 12.45 t / ha / year and average soil loss rates from 18.72 to 6.45 ton / ha / year of current use for the projected scenario. Despite the scarcity of input data and the fact that it is a non-instrumented hydrographic basin, geoprocessing associated with hydrological modeling has demonstrated a high capacity to generate information for environmental management. Therefore, the approach of the landscape under the dynamics of hydrographic basins in an integrated and systemic way to the anthropic occupation allowed to indicate that the applied methodology is of paramount importance to guarantee the preservation and conservation of the diverse ecosystems, providing activities that compact with the long term sustainability.

Keywords: hydrographic basin; soil conservation; soil erosion; hydrological modeling;



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Composição das unidades de resposta hidrológica (URH) a partir dos mapas de tipo de solo, cobertura vegetal e topografia. ....	47
Figura 2: Fluxograma Simplificado Operacional do Modelo Hidrológico SWAT .....	48
Figura 3: Localização geográfica do município de Vitorino PR e da Bacia Hidrográfica do Rio Vitorino.....	58
Figura 4: Diagrama de processamento para elaboração do mapa de susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do rio Vitorino .....	65
Figura 5: Distribuição espacial da amostra para diagnóstico socioambiental .....	66
Figura 6: Diagrama sintético das etapas que constituem o modelo SWAT .....	69
Figura 7: Sub-bacias do Rio Vitorino e seus respectivos exutórios .....	74
Figura 8:Localização Geográfica do Município de Vitorino PR.....	78
Figura 9:Inserção geológica da bacia hidrográfica do rio Vitorino.....	83
Figura 10:Mapa de delineamento da bacia a partir de dados SRTM (hidrologia) .....	86
Figura 11: Mapa de Altimetria da Bacia Hidrográfica do Rio Vitorino Pr .....	88
Figura 12: Mapa dos Tipos de Solos na Bacia hidrográfica do Rio Vitorino .....	91
Figura 13: Mapa Temático de Uso do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Vitorino Pr, a partir da Imagem de Satélite Landsat 8.....	94
Figura 14: Mapa de susceptibilidade erosiva da BHRV na escala adotada na pesquisa.....	96
Figura 15: Mapa de uso e ocupação do solo (atual e cenário projetado).....	115
Figura 16: Mapa reclassificado dos tipos de solo da Bacia hidrográfica do Rio Vitorino .....	116
Figura 17: Distribuição espacial do escoamento superficial (mm) produzido no ano de 2015 nas sub-bacias do Rio Vitorino.....	122
Figura 18: Distribuição espacial dos sedimentos produzidos no ano de 2015 nas sub-bacias do rio Vitorino para uso atual .....	124
Figura 19: Distribuição espacial dos sedimentos produzidos no ano de 2015 nas sub-bacias do rio Vitorino para o cenário projetado .....	126

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Resumo das principais inconsistências ambientais observadas a partir do diagnóstico socioambiental.....	111
---	-----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Experiências do Paraná em Políticas Públicas para a Conservação do Solo e da Água.....	32
Tabela 2: Classificação da hipsometria da bacia do Rio Vitorino e suas atribuições de peso para mapa de erosividade.....	64
Tabela 3: Classificação do uso do solo da bacia do Rio Vitorino e suas atribuições de peso para mapa de erosividade.....	64
Tabela 4: Classificação dos tipos do solo da bacia do Rio Vitorino e suas atribuições de peso para mapa de erosividade.....	64
Tabela 5: Representação dos parâmetros do modelo Swat.....	70
Tabela 6: Parâmetros de entrada para a base de dados do modelo SWAT.....	71
Tabela 7: Dados da estação meteorológica do IAPAR de Pato Branco registrados para o período de 1980 a 2010.....	82
Tabela 8: Parâmetros morfométricos da microbacia hidrográfica do Rio Vitorino.....	85
Tabela 9: Classes de declive e relevo que ocorrem na microbacia do Rio Vitorino, por área e porcentagem, segundo modelo proposto pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e EMBRAPA SOLOS (2006). .....	87
Tabela 10: Classes de solos quanto à ocorrência nominal e percentual na Microbacia do Rio Vitorino.....	91
Tabela 11: Uso do Solo quanto à ocorrência nominal e percentual na Microbacia do Rio Vitorino.....	94
Tabela 12: Áreas de suscetibilidade erosiva na BHRV na escala da pesquisa.....	97
Tabela 13: Sistema de abastecimento de água utilizado pelas famílias da Microbacia do Rio Vitorino.....	100
Tabela 14: Rendimento médio (kg/ha) das principais culturas anuais no município de Vitorino. Safra 2015/2016.....	103
Tabela 15: Rebanho existente na Microbacia do Rio Vitorino, em função do tipo, número de estabelecimentos e tamanho do rebanho.....	105
Tabela 16: Classificação dos indicadores de Conservação do Solo mencionados pelos agricultores entrevistados.....	106
Tabela 17: Uso e ocupação do solo atual da BHRV e associações das classes ao banco de dados do SWAT.....	114
Tabela 18: Uso e ocupação do solo para o cenário projetado da BHRV e associações das classes ao banco de dados do SWAT.....	114
Tabela 19: Classes dos tipos do solo do banco de dados do SWAT associadas à Bacia do Rio Vitorino e suas respectivas áreas.....	116
Tabela 20: Tipo e uso do solo estratificado para cada sub-bacia do Rio Vitorino.....	120
Tabela 21: Quantificação do escoamento superficial (mm), e das perdas de solos (ton/ha) para uso atual e cenário projetado produzido no ano de 2015 nas sub-bacias do Rio Vitorino.....	127

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Distribuição da população residente na Microbacia do Rio Vitorino, em faixas etárias.....	98
Gráfico 2: Distribuição da população residente na Microbacia do Rio Vitorino, em percentual, por escolaridade.....	99
Gráfico 3: Distribuição das habitações existentes na Microbacia do Rio Vitorino, e suas características.....	99
Gráfico 4: Distribuição dos tipos de reservatórios de água para consumo familiar existentes na Microbacia do Rio Vitorino.....	102
Gráfico 5: Práticas de manejo do solo adotadas nas áreas manejadas de culturas anuais, pelos agricultores da Microbacia do Rio Vitorino.....	106
Gráfico 6: Série dos dados históricos climáticos - Precipitação Média Mensal.....	117
Gráfico 7: Série dos dados históricos climáticos - Velocidade do vento.....	117
Gráfico 8: Série dos dados históricos climáticos - Umidade relativa do ar.....	117
Gráfico 9: Série dos dados históricos climáticos - Radiação solar.....	118
Gráfico 10: Série dos dados históricos climáticos - Temperaturas Máxima e Mínima.....	119

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGRL - Agriculture (agricultura em geral)  
ANION\_EXCL - Fração de porosidade  
ARCGIS - Geographic Information System  
ANA – Agência Nacional de Águas  
ARS/USDA - Agricultural Research Service/United States Department of Agriculture - Estados Unidos da América  
BHRV – Bacia Hidrográfica do Rio Vitorino  
BOM – Boletim Mensal de Dados  
Cfa – Clima Temperado úmido com verões quentes  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
EMATER – Empresa Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural  
ESRI - Environmental Systems Research Institute  
HYDGRP - Hydrologic Group (grupo hidrológico)  
IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social  
KML - Keyhole Markup Language  
LVdf7 - LATOSSOLOS VERMELHOS Distroféricos  
LBd1 - LATOSSOLOS BRUNOS Distróficos  
MDE – Modelo Digital de Elevação  
MUSLE - Equação Universal de Perda de Solo modificada  
NLAYERS - Número de horizontes  
NRCS - Natural Resources Conservation Service  
NVdf4 - NITOSSOLO VERMELHO Distroférico  
ONU – Organização das Nações Unidas  
PI – Plano de Informação  
PMIS - Programa de Manejo Integrado dos solos do Paraná  
PROSOLO - Programa Integrado de Conservação de Solo e Água do Paraná  
RNGB - range-brush (savana)  
RRe – NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico  
SRTM - Shuttle Radar Topography Mission  
SEAB – Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento  
SIG – Sistema de Informação Geográfica  
SOL\_ALB - Albedo do solo úmido  
SOL\_AWC - capacidade de água disponível na camada de solo SOL\_BD - Densidade  
SOL\_CBN - Conteúdo de Carbono Orgânico  
SOL\_EC - Condutividade elétrica  
SOL\_K - condutividade hidráulica saturada  
SOL\_Z - profundidade da camada de solo  
USLE - Equação Universal de Perda de Solo  
USLE\_K - Fator erodibilidade do solo  
HRU – Unidade de Resposta Hidrológica  
UTM – *Universal Transversal de Mercator*

**ZPA – Zona de Pressão Ambiental**

**SWAT – Soil and Water Assessment Tools**

**URLD - Low-Density Urbanization (urbanização de baixa densidade)**

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>
3.1	A MODERNIDADE E O PARADIGMA AMBIENTAL: A FRAGMENTAÇÃO HOMEM - NATUREZA .....	19
3.2	A MODERNIZAÇÃO DA AGRICULTURA BRASILEIRA: DO CAMPO AO NOVO RURAL PARANAENSE.....	23
3.3	ASPECTOS DA CONSERVAÇÃO DO SOLO NO PARANÁ: ESFORÇOS E PERSPECTIVAS .....	28
3.3.1	Aspectos do Uso e Conservação do Solo e a Percepção Ambiental dos Agricultores .....	29
3.3.2	Histórico do Manejo e Conservação dos Solos e da Água no Paraná .....	31
3.4	PROCESSOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS E A EROÇÃO DO SOLO.....	35
3.5	GEOTECNOLOGIAS, SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG's) A GESTÃO AMBIENTAL.....	41
3.5.1	A Modelagem Hidrológica e a Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas .....	42
3.5.2	O Modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT) e suas Aplicações no Brasil.....	45
3.5.3	Aplicação do Modelo SWAT em Bacias Hidrográficas Não Instrumentadas.....	53
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>56</b>
4.1	ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO .....	56
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DA PESQUISA .....	57
4.2.1	Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Vitorino .....	57
4.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	58
4.3.1	Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Vitorino.....	59
4.3.2	Classificação de Solos .....	61
4.3.3	Declividade e Altimetria.....	61
4.3.4	Uso e Ocupação do Solo.....	61
4.3.5	Estimativa da Erosividade .....	62
4.3.6	Diagnostico Socioambiental .....	65
4.3.7	Modelagem Hidrológica e Estimativa de Sedimentação .....	68
4.3.8	Projeção de Diferentes Cenários.....	72
4.3.9	Processamento da Simulação com o Modelo Hidrológico – SWAT.....	73
4.3.10	Calibração do Modelo.....	75
4.3.11	Determinação do Escoamento Superficial e Produção de Sedimentos .....	76
<b>5</b>	<b>ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS .....</b>	<b>78</b>
5.1	O MUNICÍPIO DE VITORINO: ASPECTOS HISTÓRICOS.....	78
5.2	CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO .....	81
5.2.1	Clima.....	81
5.2.2	Geologia e Geomorfologia .....	82
5.2.3	Análise Morfométrica.....	84
5.2.4	Análise da Declividade da BHRV .....	86
5.2.5	Identificação dos Tipos de Solos da BHRV .....	89
5.2.6	Uso e Ocupação do Solo da BHRV .....	93
5.2.7	Estimativa da Erosividade .....	95
5.3	DIAGNÓSTICO SÓCIOAMBIENTAL .....	98

5.3.1	População, Escolaridade e Habitação .....	98
5.3.2	Abastecimento e Saneamento Básico .....	100
5.3.3	Agropecuária.....	103
5.3.4	Práticas de Manejo.....	105
5.3.5	Aspectos da Conservação de Solo e Percepção Ambiental .....	106
5.3.6	Resumo do Diagnóstico Socioambiental e Proposta de Mitigação .....	110
5.4	<b>DIAGNÓSTICO HIDROSEDIMENTOLÓGICO</b> .....	113
5.4.1	Sistematização dos Dados de Entrada .....	113
5.4.2	Escoamento Superficial .....	121
5.4.3	Distribuição Espacial da Produção de Sedimentos.....	123
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>129</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>132</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Historicamente, homem e ambiente consolidaram uma relação baseada nos princípios de exploração extrativista advindos do modelo de produção do sistema capitalista, porém essa relação vem demonstrando esgotabilidade e fraqueza. Dessa maneira, a investigação da relação homem-natureza e o seu reflexo na sociedade contemporânea são indicadores que se fazem necessários diante do modelo insustentável de desenvolvimento e consumo estabelecido.

A visão reducionista sobre os sistemas ambientais resultou no atual modelo da crise ambiental e pela incapacidade da compreensão do holismo sistêmico da relação homo sapiens versus meio ambiente. Dessa maneira, ocorreu uma ruptura na relação do homem com o meio ambiente natural e a consequente exploração desenfreada dos recursos naturais, formando a moderna sociedade de consumo (PELIZZOLI, 1999; GRÜN, 2002). Ainda, o modelo de consumo em larga escala, bem como o crescimento populacional, contribuíram intensamente para o estabelecimento dessa crise ambiental vivenciada atualmente.

Nos dias atuais tem se discutido sobre a questão do desenvolvimento e a necessidade de conciliar outros fatores do que somente o econômico. Assim, surge o conceito de desenvolvimento sustentável, que visa abranger de forma equitativa três elementos: o social, o ambiental e o econômico, tendo como objetivo central atender as necessidades da sociedade atual sem comprometer a vida das gerações futuras. Ao pensarmos em um desenvolvimento que envolva a sustentabilidade, devemos partir do pressuposto da importância de uma maior participação e mobilização da sociedade. A preocupação em garantir os recursos naturais e a qualidade de vida para as presentes e futuras gerações, tem colocado a questão ambiental em evidência nas discussões, políticas públicas, estudos e outros.

O meio ambiente físico funciona como fonte de recursos naturais para as atividades antrópicas, ao mesmo tempo em que sofre com os seus impactos. Nesse sentido, pode ser observado que a causa da fixação e perpetuação do homem em determinado local ocorre, em certa proporção, devido à abundância de recursos naturais provenientes do meio ambiente físico. Dos elementos naturais, solo e água integram-se em sua essencialidade e dependência, tão logo, seus impactos se refletem diretamente um sobre o outro.

Nos últimos anos, o espaço das correntes sociológicas que abordam a interação do humano com o ambiente e as evidências de ameaças à sustentabilidade dos ecossistemas têm se acentuado. Desse modo, as abordagens passaram a ser fundamentadas na busca de uma

nova forma de desenvolvimento que desacelerasse o crescimento econômico e estivesse orientada para a construção de um mundo sustentável, democrático, igualitário e diverso (LEFF, 2009).

Atualmente, a lacuna existente no conhecimento acerca do impacto da ação antrópica sobre a alteração das respostas de uso e perda de solos na Microrregião Sudoeste do Paraná é incipiente, pois a erosão e a degradação oriundas do modelo agrícola não foram totalmente mensuradas. Contudo, sabe-se que, no modelo de produção vigente, são facilmente identificados seus impactos na interface solo e água.

Nesse contexto, o objetivo dessa pesquisa foi construir uma discussão do modelo de produção vigente, seus reflexos sob o manejo e conservação do solo e como os problemas ambientais são percebidos pelos agricultores rurais no município de Vitorino, ressaltando dimensão subjetiva da evolução dos sistemas de produção, visando entender e explicar a origem dos processos de degradação do solo, o que será de grande valia à reflexão sobre possibilidades concretas de atingir o desenvolvimento sustentável em sua complexidade.

Para tanto, é necessário estabelecer uma relação entre a evolução da sociedade e a maneira que esta se apropria do ambiente, constituindo uma conexão entre o ambiente natural e a evolução dos sistemas de explorações, lançando mão de mecanismos históricos e científicos para a descrição linear da consolidação dessa relação, abordando questões pontuais da modernização da agricultura brasileira e paranaense, seus métodos e especificidades inseridas no tempo de sua transformação como subsídio à compreensão do modelo vigente e seus impactos sobre degradação dos solos.

A partir da caracterização e fundamentação da problemática envolvida, nos aportamos da sistematização teórica em pontuar, especificamente na unidade hidrográfica, quais as ferramentas capazes de servir como meio de identificação e quantificação dos problemas relacionados às perdas de solo na bacia hidrográfica do Rio Vitorino/PR. Assim, foi construído um paralelo entre as ferramentas de diagnóstico e avaliação consolidadas aqui sobre o uso dos Sistemas de Informações Geográficas, dados espaciais, modelagem hidrológica, gestão ambiental, suas interações, processamentos e aplicações.

A presente pesquisa busca realizar o diagnóstico socioambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Vitorino, compreendendo e caracterizando aspectos de usos e perdas de solo, com o apoio de técnicas de geoprocessamento de imagens de satélite associadas à aplicação do modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), no município de

Vitorino, estado do Paraná, para que possa subsidiar estratégias de conservação e o planejamento ambiental voltado ao diagnóstico hidrossedimentológico.

A modelagem hidrológica é uma técnica que possibilita o melhor entendimento e representação do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas. Ademais, os modelos hidrológicos possuem grande potencial para caracterizar a disponibilidade hídrica em condições de mudanças no clima ou no uso do solo (TUCCI, 2005).

Recentemente, os avanços tecnológicos dos sistemas computacionais de modelagem hídrica têm demonstrado excelente aplicabilidade como ferramentas para gestão ambiental sustentável, especificamente para predição de erosão, produção de água e/ou produção de sedimentos para serem utilizados no planejamento adequado. Esses avanços permitem a projeção de cenários atuais e futuros pela interpretação de como as modificações do clima, assim como do uso e manejo de solo podem ser alteradas decorrentes de fatores tais como: hidrologia, solos, aspectos quantitativos e qualitativos da água, entre outros.

Portanto, espera-se obter dados factíveis do cenário do uso, manejo e conservação de solo da unidade hidrográfica, tornando possível, por meio da metodologia proposta, a completa estratificação fisiogeográfica, socioambiental e dos aspectos produtivos, projetando esses indicadores à luz do meio ambiente e seus impactos, principalmente voltados à erosão dos solos.

Pretendemos, por fim, gerar informações úteis à compreensão da dinâmica que ocorre neste local, com a finalidade de subsidiar aspectos de planejamento e desenvolvimento rural sustentável para a utilização do solo. Para que, assim, por intermédio de alternativas que promovam a produção de alimentos e matérias-primas aliados à conservação do solo, fauna e flora, promovendo preservação ambiental e a qualidade de vida que tanto se almeja.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar o diagnóstico ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Vitorino-PR (BHRV) e relacionar a influência da variação do uso e ocupação do solo com as perdas de solo.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Quantificar o escoamento superficial e as perdas de solo por erosão e sedimentação por meio da modelagem hidrológica nas sub-bacias da bacia hidrográfica do Rio Vitorino
- b) Realizar o diagnóstico fisiogeográfico da Bacia Hidrográfica em ambiental SIG como instrumento de diagnóstico e análise à compreensão da dinâmica que ocorre neste local.
- c) Compilar o diagnóstico ambiental dos indicadores avaliados, a fim de propor uma estratégia de mitigação dos passivos identificados e conservação ambiental.
- d) Identificar, por meio do diagnóstico socioambiental, as fragilidades do modelo de produção vigente na unidade hidrográfica e seus desdobramentos socioeconômicos.
- e) Caracterizar o conjunto de indicadores presentes e a percepção ambiental dos agricultores com relação à temática da perda de solo.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 A MODERNIDADE E O PARADIGMA AMBIENTAL: A FRAGMENTAÇÃO HOMEM - NATUREZA

A investigação da relação homem-natureza e o seu reflexo na sociedade contemporânea são indicadores que se fazem necessários diante do modelo insustentável de desenvolvimento e consumo estabelecido.

Somente ao fim da década de 1960 e início da década de 1970, as questões ambientais emergem em novas análises, que compreendem uma visão holística, complexa e interdisciplinar acerca das ameaças contemporâneas, principalmente no que diz respeito à degradação ambiental, transpondo a internalização e a fragmentação do paradigma cartesiano para a compreensão da relação ser humano e meio ambiente, para o viés da complexidade. Nesse sentido, destaca Balim (2014), o paradigma da complexidade proposto, principalmente, por autores como Edgar Morin e Enrique Leff, se constitui como um modelo aceitável de ser sustentado diante de uma sociedade plural, inter-relacionada, que exige cada vez mais considerações interdisciplinares a fim de que se efetivem seus principais direitos, dentre eles o de possuir um meio ambiente sustentável, equilibrado e que permita a manutenção e o desenvolver das gerações.

A problemática ambiental é atualmente associada ao desenvolvimento da civilização, às crises sociais, econômicas e políticas que as acompanham, de tal modo, que a degradação do meio ambiente deixa de ser apenas um problema relativo à natureza física e passa a admitir, também, a dimensão de um problema socioambiental a partir do desenvolvimento das civilizações, dada pelo modo como se compreende e se estabelece uma relação entre as ações ou o modo de existir humano e a natureza (GIDDENS, 1991, p. 123-125). Para Leff (2007), a problemática ambiental – a poluição e degradação do meio, a crise de recursos naturais, energéticos e de alimentos – surgiu, nas últimas décadas do século XX, como uma crise de civilização, questionando a racionalidade econômica e tecnológica dominantes.

Assim apresenta Leff (2010), a racionalidade econômica, instaurada no mundo com a Modernidade, se expressa em um modo de produção fundado no consumo da natureza de forma destrutiva, visto que sua principal característica é o desajuste entre as variadas formas e níveis de exploração e transformação dos recursos naturais e as condições ecológicas de conservação e regeneração.

Depois que essa racionalidade econômica alcançou determinado nível de desenvolvimento, essa ação direcionou-se para a reprodução, acumulação e expansão do capital, gerando a divisão do trabalho, a troca desigual de mercadorias e, em consequência, a degradação ambiental (LEFF, 2009, p. 27).

Assim, a crise ambiental fundada é admitida como uma crise da civilização e de percepção do homem em relação ao meio ambiente que o cerca. Adotar a perspectiva da complexidade para o enfrentamento da problemática ambiental permitirá, então, com maior eficácia, superar os desafios que a sociedade contemporânea impõe a transformar seu modelo de desenvolvimento e a maneira de pensar, bem como se colocar na natureza. Desta forma, a crise ambiental problematiza os paradigmas estabelecidos do conhecimento e demanda novas metodologias capazes de orientar um processo de reconstrução do saber, que permita realizar uma análise integrada da realidade (LEFF, 2001a, p. 171).

O caráter limitado e fragmentado do conhecimento disciplinar, ao não conceber as conexões entre o social e o natural, restringiu-se, simplesmente, a internalizar premissas ecológicas e tecnológicas, não contemplando a análise do conflito social, nem da dimensão política que transpõe o campo ambiental. Frente a essa insuficiente abordagem do ambiental, Leff aponta para a necessidade de uma sociologia ambiental,

[...] entendida como uma disciplina com um campo temático, conceitos e métodos de pesquisa próprios, capaz de abordar as relações de poder nas instituições, organizações, práticas, interesses e movimentos sociais que atravessam a questão ambiental e que afetam as formas de percepção, acesso, uso dos recursos naturais, assim como a qualidade de vida e os estilos de desenvolvimento das populações (LEFF, 1994, p. 18).

Leff (2007) contempla a necessidade de admitir novos valores e conhecimentos que tenham a capacidade de estabelecer uma gestão de recursos ambientais sobrepostos ao modelo capitalista de racionalidade produtiva. Para ele, estes processos estão intimamente vinculados ao conhecimento das relações sociedade-natureza: não só associados a novos valores, mas a princípios epistemológicos e estratégias conceituais que orientam a construção de uma racionalidade produtiva sobre bases de sustentabilidade ecológica e de equidade social.

Leff (2000, p. 28) critica todas as formulações dentro dos estudos ambientais que se limitam a uma “[...] racionalidade científica que tem ‘externalizado’ o ambiente e que desconhece o saber ambiental”. Reforça que a homogeneização dos saberes é um grande equívoco, pois não é possível desconsiderar a especificidade conceitual de cada um deles, dentro dos limites de cada território onde foram historicamente construídos.

A análise da questão ambiental exigiu uma visão sistêmica e um pensamento holístico para a reconstituição de uma realidade “total”. A partir deste, propôs-se um projeto para pensar as condições teóricas e para estabelecer métodos que orientem as práticas da interdisciplinaridade (Leff, 2007, p. 82).

Em meados de 1960 a ideia de limites é reforçada. Começava-se a falar em “sociedade de risco” (Ulrich Beck e A. Giddens), em que se destacava que o risco que a sociedade corre é derivado da própria intervenção da sociedade humana no planeta e, principalmente, da intervenção técnico-científica. Cresce, também, a consciência de que o risco global se sobrepõe ao risco local, regional e nacional.

Para Giddens (1990), os fundadores da sociologia, (Marx, Durkheim e Weber) assumiam a era moderna como uma era turbulenta, porém acreditavam que as possibilidades benéficas abertas pela era moderna superavam suas características negativas. Giddens considerava que as consequências da modernidade em termos de uma preocupação com os limites do uso da racionalidade científica e dos danos ambientais resultados das práticas industriais representavam um lado sombrio, presumindo o que vem a ser risco na alta modernidade.

O termo modernidade num sentido mais geral, referindo-se às formas de comportamento que se espalharam pelo mundo e que teve origem na Europa depois do feudalismo, é empregado para entender a modernidade é necessário entender a industrialização e o processo de globalização, pois é a partir destes dois processos que se pode analisar as relações sociais originárias dos modos de produção, porém há uma dimensão institucional: o capitalismo – que ocasionou a mercantilização da força de trabalho (GIDDENS, 1990, p. 2002).

Nesse sentido, a ideia de progresso e crescimento predominou durante a industrialização influenciando o pensamento e a cultura das sociedades de tal maneira que a exploração ambiental se justificaria em razão dos avanços do desenvolvimento. Assim, o ambiente natural torna-se um meio exequível de suas aspirações, um objeto utilizado pelo homem de maneira desenfreada, a fim de suprir os anseios da sociedade de modelos cada vez mais consumistas e depredatórios que se formava.

Portanto, essa sociedade “reflexiva” vê-se obrigada a confrontar-se com o que ela mesma criou, de modo que os riscos constituem-se nas incertezas que terão que enfrentar como algo aceitável pelos empreendimentos e novas tecnologias utilizadas, sendo que não há como medir a amplitude desses riscos incertos, não sabendo quem será por eles atingido, uma

vez que a transição do período industrial para o período de risco ocorre de forma indesejada, despercebida e compulsiva no despertar do dinamismo autônomo da modernização, não se constituindo em uma opção que se pode escolher ou rejeitar no decorrer de disputas políticas.

Sob a concepção de Giddens, a discussão permeia no reconhecimento de que, em uma sociedade tradicional, a identidade social dos indivíduos é limitada pela própria tradição, pelo parentesco, pela localidade. A modernidade, caracterizada como uma ordem pós-tradicional, ao romper com as práticas e preceitos preestabelecidos, enfatiza o cultivo das potencialidades individuais, oferecendo ao indivíduo uma identidade “móvel”, mutável. É, nesse sentido que, na modernidade, o indivíduo torna-se, cada vez mais, um projeto reflexivo, pois onde não existe mais a referência da tradição, desintegra-se, para o indivíduo, um mundo de diversidade, de possibilidades abertas, de escolhas. O indivíduo passa, assim, a ser responsável por si mesmo e o planejamento estratégico da vida assume especial importância pela sua autoprodução.

Ainda, propõe Giddens (1991) que as discontinuidades fizeram com que o ritmo de mudança da era moderna gerasse rupturas importantes, de tal ordem que causaram mudanças significativas. A tecnologia que emergiu com a industrialização foi sem precedentes e as mudanças ocorrem quer seja pelo risco derivado do meio ambiente criado ou da natureza socializada, com o acréscimo do conhecimento no meio ambiente material (por exemplo, a poluição, o lixo tóxico, a exaustão do solo).

A sociedade está evoluindo de uma sociedade industrial para uma sociedade de risco, em que o desenvolvimento social se caracteriza em três distintas condições: a sociedade pré-industrial, na qual o risco assume a forma de perigos naturais que estão independentes de decisões tomadas por indivíduos, não podendo ser considerados voluntários ou criados intencionalmente, sendo, desta forma, efetivamente inevitáveis; a sociedade industrial, cujos riscos passam a ser resultantes das ações, tanto dos indivíduos, como de forças sociais de âmbito mais vasto, quer sejam perigos no trabalho devido às máquinas e outros, quer os perigos do desemprego e condição vulnerável ocasionados pela dinâmica do ciclo econômico e pela transformação da estrutura econômica. Nesta a atribuição ou a responsabilidade pelas ameaças pode ser assegurada confidencialmente e as suas variáveis de ocorrência em termos estatísticos podem ser estimados; Por fim, constitui-se a sociedade de risco, em que, sob o impacto dos riscos e perigos modernos, estes métodos de determinar e perceber o risco, atribuindo a causa e distribuindo indenizações, desaparecem irreversivelmente. Riscos que



podiam ser calculados na sociedade industrial tornaram-se incalculáveis e imprevisíveis na sociedade de risco (BECK, 1997, p. 37).

Agora, portanto, os riscos e os perigos modernos que excedem os antigos limites de espaço e tempo, e a riqueza, os privilégios, o estatuto e o poder econômico não oferecem qualquer caminho de fuga. A dimensão dos riscos é tão grande que ricos e pobres, norte e sul são ameaçados de igual maneira (BECK, 1996, p. 138).

Dessa forma, para a presente tese, fundamentar a construção dessa relação é essencial para a compreensão da problemática evidenciada à luz da transformação tecnocientífica da modernização agrícola e seus impactos sob o meio ambiente.

### 3.2 A MODERNIZAÇÃO DA AGRICULTURA BRASILEIRA: DO CAMPO AO NOVO RURAL PARANAENSE

No que transpõe o término do século XVIII, a urbanização e industrialização foram processos complementares, associados um ao outro, marcados pela Revolução Industrial (1750), em que o termo desenvolvimento foi concebido sob a noção de crescimento econômico, tal e qual algo importante para o aumento da riqueza das nações, como bem apresenta Adam Smith, em sua obra “A Riqueza das Nações”, resultou na expansão e adensamento da rede urbana nacional, que passa a contar com o crescimento das cidades, fenômeno necessariamente urbano (SANTOS, 2009, p. 48).

De imediato, as relações de trabalho se modificaram, muitos camponeses migraram para as cidades buscando empregos nas fábricas. Esses operários recebiam salários muito baixos e sua capacidade de trabalho era explorada ao máximo.

A indústria exige, em sua proximidade, a presença de um grande número de trabalhadores. O seu grande volume de produção requer serviços de infraestrutura (transportes, armazenamento, energia, etc.), que constituem o cerne da moderna economia urbana. Quando a fábrica não surge já na cidade, é a cidade que se forma em volta dela. (SINGER, 1998, p. 23).

Com o processo de industrialização, as características sociais, econômicas e geográficas sofreram transformações profundas, marcadas pela transição de uma economia essencialmente primário-exportadora para uma economia urbana e industrial, estruturada por relações específicas de trabalho capitalista (MELLO, 2011, p. 147).

Conforme apresenta Bordo (2006), no centro das transformações estruturais da sociedade brasileira, entre as décadas de 1930 e 1940, assiste-se a um processo de centralização política a partir da Revolução de 1930, refletindo, também, uma centralização das políticas agrícolas nacionais como forma de acomodar e atender aos interesses agrários regionais e setoriais das forças políticas que emergem sob o Governo Vargas. Na medida em que crescia a industrialização, as sociedades iam, da mesma forma, se urbanizando. A industrialização oferecia empregos urbanos à população rural, que deixava os campos em busca de novas oportunidades de vida, em razão de mudanças estruturais, como a mecanização da agropecuária, que diminuiu a necessidade de mão de obra no campo, ao mesmo tempo em que crescia a necessidade de trabalhadores nas fábricas e nos serviços urbanos. Deste modo, em muitas partes do mundo, principalmente nos países que estavam se industrializando, a população urbana passou a crescer mais do que a população rural, caracterizando o processo de urbanização. Para que haja urbanização, faz-se necessário que a população urbana aumente em relação à população total de um país.

A partir dos anos 1940, a industrialização brasileira foi beneficiada pela intervenção do Estado na economia, com a instalação de grandes empresas estatais, particularmente no ramo da indústria pesada: siderurgia, indústria química, mecânica pesada, metalurgia, mineração, geração de energia (petróleo, hidrelétricas) e outras. Eram setores que exigiam grandes capitais, cujo retorno só se daria a longo prazo e que a burguesia nacional não estava interessada em investir. A Revolução Verde refletiu na estrutura da formação agrária e agrícola que historicamente se constituiu no Brasil, fundamentada em obedecer aos padrões estabelecidos pelo capitalismo dos grandes centros imperialistas. O grande latifúndio da monocultura ampliou a concentração de terras e de riquezas de um lado, gerando uma massa de camponeses empobrecidos e excluídos, do outro lado (CORONA, 1999, p. 49).

A partir dos anos 1960, a mecanização do campo – associada a problemas estruturais, como o monopólio da terra e a monocultura – expulsou um grande número de trabalhadores rurais para as áreas urbanas. A população urbana ultrapassa a rural nos anos 1970, passando de 44,67% do total em 1960 para 55,92% dez anos depois (MELLO, 2011).

Entre o fim do período colonial até o final o século XIX, o índice de urbanização pouco se alterou no Brasil, entre os anos de 1890 e 1920 cresceu aproximadamente 3% e foi somente no período entre 1920 e 1940 que o Brasil viu sua taxa de urbanização triplicar, chegando a 31,24% (SANTOS, 2009, p. 25)

A forte associação entre urbanização e industrialização caracteriza os processos de dinâmica territorial, populacional e econômica na história do Brasil. De uma economia de base agrária, em um espaço de tempo de 30 anos, o país transformou-se numa sociedade altamente urbanizada e industrializada, registrando em números essa transição. Esse processo produziu efeitos diversos sobre o ambiente natural, fruto dos impactos sobre os ecossistemas na implantação de infraestrutura, na exploração dos Recursos Naturais para a industrialização e sobre as cidades como resultado da intensa migração de população, assim como da nova dinâmica de instalação de atividades econômicas no espaço. A partir da segunda metade da década de 1990, a nova dinâmica econômica instaurada no mundo conduziu ao atual contexto urbano-industrial do Brasil, refletindo na organização do espaço e nas relações entre mercados, as inovações trazidas pela globalização, que surgiram e se somaram às heranças materializadas nas fases anteriores (MATTEI, 2014, p. 89).

Esse cenário de integração entre agricultura e indústria é caracterizado pela mudança na base técnica dos meios de produção no campo e pela integração variável entre a produção primária de alimentos e matérias-primas e vários ramos industriais, configurando o que se denominou modernização conservadora da agricultura brasileira.

Foi, no entanto, na década de 1970, com o advento da “Revolução Verde”, que a região Sudoeste do Paraná passou por algumas transformações. O uso da motomecanização, fertilizantes, agroquímicos, melhoramento genético de plantas e animais acabaram por promover mudanças na agricultura regional, bem como nacional, impondo um sistema agrícola baseado em novos padrões de produção e pelos seus desdobramentos.

[...] onde foi implantado de forma significativa, rompeu radicalmente com o passado por integrar fortemente as famílias rurais a novas formas de racionalidade produtiva, mercantilizando gradualmente a vida social e, em lento processo histórico, quebrando a relativa autonomia setorial que em outros tempos a agricultura teria experimentado. Com a disseminação de tal padrão na agricultura, desde então chamado de "moderno", o mundo rural (e as atividades agrícolas, em particular) passou a subordinar-se, como mera peça dependente, a novos interesses, classes e formas de vida e de consumo, majoritariamente urbanas, que a expansão econômica do período ensejou, em graus variados, nos diferentes países (NAVARRO, 2001, p. 84).

As constantes transformações que vêm sendo observadas no ambiente rural nos últimos cinquenta anos, na esteira da modernização agrícola, contribuíram para uma elevação da produção e, ao mesmo tempo, para o desemprego no campo, dessa maneira, levando milhões de trabalhadores rurais a se deslocarem para as grandes cidades em busca de empregos e melhores condições de vida. É neste ritmo das transformações das relações sociais, econômicas e de trabalho, que surge o que tem sido chamado de Novo Rural

Brasileiro, em que o campo passa a ser utilizado para novas ocupações agrícolas e não-agrícolas, alterando o modo de vida rural.

Tais mudanças, segundo Abramovay (1981), foram devidas: “[...] a intensificação da força produtiva do trabalho e o aumento da produtividade por área cultivada, o fim da autonomia técnica, dependência dos insumos industrializados e a especialização com o declínio do regime de policultura”. Esse novo modelo teve um grande incentivo governamental, cuja assistência técnica e linhas de crédito voltaram-se para este novo modelo, o que acabou por privilegiar apenas alguns grupos de agricultores que preenchiam os pré-requisitos exigidos pelos órgãos financiadores.

Com isso, constitui-se na região uma diferença, conforme cita Corona (1999), entre os “modernos”, que tiveram acesso às inovações tecnológicas e linhas de crédito, e os denominados “atrasados”, que não tiveram acesso às inovações tecnológicas e linhas de crédito. No entanto, esse processo não se estendeu por todo o Sudoeste do Paraná. A modernização foi parcial, porque nem todos os agricultores tiveram acesso às novas tecnologias. As áreas mais favoráveis foram rapidamente adquiridas pelos agricultores ou “pelo pessoal da cidade”, com maior capital e com maior capacidade de lidar com as fontes de fomento e com o mercado. A formação geográfica, com muitas áreas rochosas e montanhosas, não permitiu a incorporação de grandes áreas de terra e o uso intensivo das máquinas, o que facilitou a permanência de grande quantidade de pequenos agricultores que mantiveram as técnicas tradicionais de manejo do solo.

Então, a partir da década de 1980, com o término da “euforia modernizadora”, a agricultura Sudoestina apresenta os primeiros traços de insuficiência ambiental. O esgotamento dos solos, a incorporação parcial das novas tecnologias, produção baseada em monoculturas (soja e trigo) juntamente com o fim das linhas de crédito “milagrosas” foram os principais elementos que iniciaram um período de reestruturação da agricultura regional. Foi a partir disto que os agricultores familiares da região buscaram meios de superar a crise enfrentada e uma das formas foi à liberação de mão de obra familiar para ser ocupada em atividades extra-agrícolas, bem como a mudança na matriz produtiva até então usada (início da produção agroecológica, em contraposição à agricultura convencional) (ABRAMOVAY, 1981, p. 124).

Portanto assumimos o fato, de que o desenvolvimento do capitalismo, no que se refere particularmente ao campo, é um caminho sempre repleto de contradições e não havia de ser diferente no caso brasileiro. Contrariamente, as contradições aqui foram acentuadas tanto

pelo caráter extremamente desigual do desenvolvimento das várias regiões do país, como pela presença marcante do Estado nesse processo.

Conforme aponta Veiga (1994), por muito tempo se considerou que o avanço das forças produtivas agrícolas esteve estruturado, essencialmente, na descoberta de novas tecnologias. Convencionalmente, a "agricultura itinerante" teria sido superada pela invenção da enxada e, depois, do arado; a revolução agrícola teria sido provocada pela descoberta de leguminosas forrageiras; e o modelo atual gerado diretamente pela fabricação rentável de motores, fertilizantes e defensivos químicos. Porém, atualmente se reconhece que a adoção em escala social de novas tecnologias sempre dependeu de contextos muito complexos, e que também existem diversos exemplos históricos inversos, isto é, de sociedades que não conseguiram superar os desequilíbrios sociais e ambientais gerados por seus modelos de uso da terra. O autor complementa que, diante do constante crescimento populacional, um dos maiores desafios é combater a pobreza sem esquecer a responsabilidade ambiental, pois têm se justificado, na necessidade de obter segurança alimentar, as práticas produtivas, distributivas e consumistas que degradam recursos naturais, poluem o meio ambiente e contaminam alimentos e as estratégias produtivas resultantes de estímulos econômicos de curto prazo que não levam em conta a necessidade de proteger o patrimônio natural e assegurar o bem-estar das futuras gerações (VEIGA, 1994, p. 36-42)

Da análise da formação da frente ocupação da região Sudoeste, evidenciam-se três momentos distintos que marcam sua identidade e territorialidade. Inicialmente, de forma livre e autônoma, sem a intenção de apropriação da terra, um processo livre de ocupação foi observado pelos índios e caboclos. Posteriormente, na década de 1940, o movimento se intensificou pela entrada dos migrantes do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, bem como pela instalação de companhias colonizadoras, que tinham por finalidade a propriedade da terra, o enriquecimento e, a estruturação da vida em patamares diferentes dos primeiros habitantes (MATTEI, 2014, p.69).

Finalmente, se estabelece um modelo característico do processo de modernização da agricultura que se instaura no Sudoeste, em um território baseado na pequena propriedade familiar, em pequenas cidades, na policultura e com fortes traços culturais e étnicos trazidos pelos migrantes gaúchos e catarinenses.

### 3.3 ASPECTOS DA CONSERVAÇÃO DO SOLO NO PARANÁ: ESFORÇOS E PERSPECTIVAS

O Estado do Paraná possui cerca de 11 milhões de habitantes, dos quais, cerca de 15% estão no meio rural. Ainda, quando se analisa geograficamente em nível de municípios, 339 possuem população menor de 20 mil habitantes, podendo ser classificados como municípios rurais. Destes últimos, ao pensarmos na representatividade do rural para o estado, teríamos o percentual de 38% de pessoas que residem e cuja renda depende de atividades rurais (IPARDES, 2010).

Ao referenciarmos sobre a representação do estado para o país, podemos aferir que esse representa 2,3% do território nacional. Cabe ao Paraná ser responsável por em torno de 25% da produção nacional de grãos e 8% da produção pecuária nacional. Em relação à produção é o principal produtor nacional de trigo, milho e aves; o segundo maior produtor de soja e cana-de-açúcar; o terceiro de carne suína, leite, batata e mandioca e, ainda, ocupa posição de destaque na produção de tomate e café (SEAB, 2015).

Para Bertol et al. (2016), apesar da sua expressiva contribuição agropecuária, o estado sofre com desequilíbrios sociais e ambientais. O percentual de famílias abaixo da linha de pobreza é de 20,90%, com maior incidência nos municípios considerados rurais; neles se concentra 47,00% da população pobre. No aspecto ambiental, também se verificam desequilíbrios com o recrudescimento do processo erosivo e o esgotamento da fertilidade natural dos solos, bem como da degradação dos recursos naturais, principalmente solo e água. Mesmo com uma diversificação de produtos, a agricultura é extremamente dependente de commodities, bem como o uso intensivo do solo, já que a agricultura moderna está fundamentada em um modelo agrícola centrado na produção de grãos e seu primeiro beneficiamento, gerando bens de baixo valor agregado. Soma-se a esse fato a crescente competitividade da economia, em que a produção tende a reduzir a renda por unidade geográfica, exigindo cada vez mais a ampliação da escala de produção, o que compromete a sustentabilidade das propriedades de grãos do Paraná.

Em relação aos solos, o estado apresenta uma grande variabilidade. Conforme o levantamento de reconhecimento dos solos realizado no estado (EMBRAPA, 2008), no território paranaense ocorrem 224 unidades de solo em 20 classes distintas. Quando abordamos os diferentes solos, estamos nos remetendo em relação: maior ou menor grau, em características específicas, tais como textura, estrutura, estabilidade dos agregados na

presença da água, profundidade, saturação de elementos minerais, capacidade de infiltrar e de reter água, ocorrência de gradiente textural, presença ou não de pedras e falta ou excesso de água. Em razão destas diferenças, os solos se distinguem, por exemplo, quanto às potencialidades de serem utilizados para as explorações agrícolas ou de serem submetidos à mecanização, conforme suas diferentes aptidões.

Há de se reconhecer, ainda, outra distinção importante entre os solos que ocorrem no Paraná, de acordo com sua erodibilidade, ou seja, a suscetibilidade, em condições naturais, de ser degradado por erosão hídrica. Dessa maneira, alguns solos apresentam baixa erodibilidade, já outros possuem elevada suscetibilidade à erosão. Portanto, o manejo assume extrema relevância, tendo em vista que mesmo os solos que apresentam baixa suscetibilidade à erosão, quando manejados inadequadamente e sem que recebam práticas conservacionistas adequadas, podem ser degradados intensamente por erosão hídrica.

### 3.3.1 Aspectos do Uso e Conservação do Solo e a Percepção Ambiental

A noção de Desenvolvimento Sustentável em sua essência assume o papel de ente transformador, no sentido de tornar equitativas a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional, para, assim, atender às necessidades atuais e futuras. Assim, o desenvolvimento sustentável objetiva conciliar a economia, a sociedade e os elementos da natureza, assinalando as atividades para o desenvolvimento realizado de modo a preservar as qualidades essenciais dos recursos naturais (SACHS 2001, p. 93-95).

A perda de solo por erosão é um dos problemas ambientais mais graves da atualidade, implicando diretamente na degradação de vários recursos naturais, principalmente do solo e da água. Apesar de ser um processo tido como natural, que ocorre em pequenas proporções e de forma gradual para modelar a conformação do relevo, a ação do homem tem exercido influência potencial neste processo, o que vem aumentando os casos de risco de degradação do solo e de forma secundária a água, quer seja pela sedimentação do solo ou no carreamento de agroquímicos. Dada a relevância do contexto, com o objetivo de alcançar a plena consciência da sociedade civil e dos responsáveis pela tomada de decisões sobre a profunda importância do solo para a humanidade, no ano de 2015 a Organização das Nações Unidas (ONU) declarou aquele como o Ano Internacional dos Solos (SBCS, 2017).

Com as transformações da capitalização e modernização do rural, o modo de vida e as relações também foram transformadas. Antes, a produção visava atender o abastecimento interno da unidade familiar, ficando o excedente da produção para a comercialização; agora, a produção agropecuária passa a ser vista como uma pequena empresa, buscando lucratividade e competitividade. Para que se possa aumentar a competitividade e a escala de produção os agricultores excedem a capacidade e esgotam os solos, causando problemas tais como: erosão, falta de fertilidade, perda de nutrientes, redução da capacidade de retenção de água, entre outros, sendo um sistema insustentável (VEIGA, 1994, p.125 -127).

Nesse sentido, ao pensarmos sobre a questão da sustentabilidade dos recursos naturais nas regiões com intensas atividades agropecuárias, é necessário ter um conhecimento do sistema de produção e dos ecossistemas, como exemplos: quais as consequências do uso inadequado do solo; quais e o como proceder com os dejetos oriundos das diferentes atividades; consequências da utilização dos agrotóxicos para o ambiente e saúde humana, entre outros. A partir do levantamento de vários dados sobre o sistema, é que se pode pensar em orientações para proteção ambiental, impedir desperdícios econômicos, assegurar um manejo adequado visando a conservação ambiental e a qualidade de vida da sociedade (entendida pelo conjunto do rural e urbano) (SEAB, 2015, p. 46).

E esse seria um dos fatores que influenciaram o presente estudo. Pois, primeiramente temos que considerar que a produção agropecuária no país depende do solo para a produtividade e caso não haja um cuidado e/ou medidas de conservação do solo a produção não será garantida. Além disso, muitas propriedades rurais se encontram ao longo das margens dos rios e apresentam nascentes, fazendo com que o manejo inadequado do solo e de defensivos agrícolas interfiram e afetem, de forma direta e indireta, a flora, a fauna e os humanos

Na questão dos recursos hídricos, esses problemas se refletem na qualidade e quantidade de água disponível para consumo humano. Quando tratamos sobre a questão do assoreamento e da poluição de corpos hídricos, podemos afirmar que contribuem para inundações e deslizamentos de encostas e taludes. Desse modo, os impactos extrapolam a questão ambiental, pois causam prejuízos de várias ordens, como: diminuição da produtividade, aumento na utilização de insumos (principalmente na fertilização), aumento nos custos na área da saúde, gastos em recuperação de estradas e moradias, maiores custos para tratamento de água, recuperação do solo, entre outros.



O êxito de um trabalho que considere os aspectos ambientais está diretamente relacionado à maneira com que os indivíduos percebem, reagem e respondem sobre a temática das ações que os envolvem. Dessa forma, se torna imprescindível identificar qual a percepção construída por esses indivíduos, pois percepção é algo individual e cada ser se apresenta de maneira diferente perante estas questões de acordo com o que lhe é internalizado. Apresentado por Oliveira (1997, p. 62) “[...] a percepção é justamente uma interpretação com o fim de nos restituir a realidade objetiva, através da atribuição de significado aos objetos percebidos [...]”. Desta maneira, quando se olha, sente e ouve algo, atribui-se significado a ele, que permanece constante na memória. Porém, para o desenvolvimento da percepção ambiental do indivíduo, este deve exceder os aspectos de simples observador e internalizar um conhecimento acerca da totalidade do meio que o cerca, desenvolvendo a consciência de responsabilidade para com este.

### 3.3.2 Histórico do Manejo e Conservação dos Solos e da Água no Paraná

O estado sempre esteve à frente dos Programas de Manejo e Conservação de Solo e Água, desenvolvendo esforços para conter a degradação dos mesmos, especialmente a degradação decorrente da erosão hídrica, nesse sentido, tem se concentrado esforços para mitigar esse processo. Para tanto, há quase cinco décadas, foram conduzidos 10 programas de governo, conforme pode ser visualizado na Tabela 01, sendo que, em quatro deles, parte dos recursos aplicados foram de fonte internacional e os seis outros programas foram desenvolvidos com recursos exclusivos do estado (SEAB, 2015, p. 86).

As primeiras iniciativas ocorreram no início nos anos 1970, em resposta aos graves danos que a erosão estava causando aos solos e toda a infraestrutura sobre ele fundamentada, como estradas, bueiros, pontes e mananciais d’água, com reflexos diretos, também, no meio urbano. Porém, o desconhecimento da ação e dos efeitos no solo de cada fase deste fenômeno, bem como das medidas mais adequadas para neutralizá-las, fez com que as iniciativas não tivessem o êxito esperado (EMATER, 2016, p. 25).

**Tabela 1: Experiências do Paraná em Políticas Públicas para a Conservação do Solo e da Água.**

<b>Período de Referência</b>	<b>Ação (Política / Programa)</b>
1971 a 1984	Projeto Noroeste do Paraná
1975 a 1984	PRÓ-Noroeste
1976 a 1980	Programa Integrado de Conservação de Solo
1983 a 1986	Programa de Manejo Integrado de Solos
1987 a 1989	Programa de Manejo Integrado de Solos e Água
1989 a 1997	Projeto Paraná Rural*
1998 a 2006	Programa Paraná 12 Meses*
2003 a 2009	Projeto Paraná Biodiversidade*
2006 a 2010	Projeto de Gestão Ambiental Integrada em Microbacias
2012	Programa de Gestão de Solos e Água em Microbacias*
2016	Programa Integrado de Conservação de Solo e Água do Paraná – PROSOLO PARANÁ

\*Financiamento Internacional

Fonte: Adaptado de EMATER, 2016.

Podemos afirmar que as medidas adotadas se destinavam a controlar mais os efeitos do que as causas, uma vez que as práticas adotadas naquele momento centravam-se em torno de uma única prática conservacionista, no caso o terraceamento<sup>1</sup>.

Tendo em vista que essa prática tem como principal função seccionar a encosta, ela é capaz de controlar apenas as fases de transporte e de deposição, pois atua na detenção e armazenamento do escoamento superficial. Embora essa prática controle a desagregação ocasionada pela energia cisalhante do escoamento superficial, não tem efeito sobre a desagregação provocada pela gota da chuva. Portanto, uma primeira importante lição era admitida nesse período: considerar a erosão um processo dinâmico e difuso.

Dado o insucesso dos programas anteriores, na expectativa de suprimir os erros passados, surgiram novas metodologias de controle da erosão, nos quais foram empregadas algumas estratégias inovadoras que se mostraram mais eficientes para o controle da erosão hídrica e que apresentavam pontos comuns.

Dessa forma, passam a ser adotadas como unidade de planejamento as bacias hidrográficas, denominadas microbacias<sup>2</sup>. Essa estratégia facilitou a integração entre as

<sup>1</sup> O terraceamento da lavoura é uma prática de combate à erosão fundamentada na construção de terraços com o propósito de disciplinar o volume de escoamento das águas das chuvas. Consiste na construção de uma estrutura transversal ao sentido do maior declive do terreno. Apresenta estrutura composta de um dique e um canal e tem a finalidade de reter e infiltrar, nos terraços em nível, ou escoar lentamente para áreas adjacentes, nos terraços em desnível ou com gradiente, as águas das chuvas (EMBRAPA, 2008).

propriedades rurais, por meio da aplicação das práticas de controle da erosão hídrica em uma unidade complexa e sistêmica, além de despertar a consciência para a integração da água ao contexto, diretamente relacionado ao solo.

A ascensão foi extremamente positiva, tanto que, a partir destes, foi observada a integração de instituições de assistência técnica, de pesquisa, associações de profissionais ligados à agricultura, instituições que representam os agricultores (sindicatos e cooperativas), entre outras.

A partir disso, passa-se a compreender o sistema conservacionista como a integração de práticas em unidades complexas e sistêmicas. Nesse contexto, iniciam-se ações de: integração do terraceamento nas lavouras com as estradas rurais e com a execução das operações agrícolas em nível; a recuperação da fertilidade do solo através da calagem; a redução dos níveis de compactação do solo por meio da escarificação; e a adubação verde.

As ações repercutiram expressivamente, não apenas na mitigação da erosão, mas também, na elevação da capacidade produtiva dos solos, obtida pela melhoria das condições químicas, físicas e biológicas. As ações estruturantes e exitosas só foram possíveis ao passo que conceberam as intervenções em todas as etapas de sua ocorrência.

Conforme aponta Merten et al. (2001), o fenômeno da erosão hídrica do solo, como processo, pode ser dividido em três fases distintas: individualização das partículas que formam os agregados do solo pela ação do impacto da gota de chuva, também chamado de fase de desagregação; transporte do material desagregado, por meio do escoamento superficial que se forma quando o volume de chuva precipitado supera a capacidade de infiltração de água no solo, ou seja, a fase de transporte, sendo que nessa fase também poderá ocorrer desagregação e transporte de solo, caso o escoamento superficial seja tal qual ao ponto de promover cisalhamento; deposição do material transportado, que ocorre quando a capacidade do escoamento transportar é superada pela massa de sedimentos que está sendo transportada admitida como a fase de deposição. É importante ressaltar que as fases da erosão, embora distintas quanto à forma de agir, podem ocorrer concomitante e simultaneamente.

---

<sup>2</sup> Por definição, a microbacia é um espaço geográfico delimitado pelos divisores de água e tendo no seu interior um curso de água. A microbacia tem se mostrado a unidade territorial mais apropriada e que mais se ajusta às ações de recuperação ambiental. O Paraná dividiu seu território em microbacias, com tamanho médio de 3.500 hectares, através de metodologia da otto-codificação, a qual se baseada na hierarquização das bacias hidrográficas segundo sua área de contribuição exclusiva (BERTOL et al., 2016).

Outro fator relevante foi, a partir da década de 1980, com a adoção do Sistema de Plantio Direto, o que representou um avanço significativo, diminuindo ou eliminando totalmente o revolvimento e exposição do solo e adicionando matéria orgânica em cobertura vegetal, atenuantes significativos dos processos erosivos. Outro marco importante foi a Lei Estadual nº 8.014, de 14 de dezembro de 1984, que dispõe sobre a preservação do solo agrícola, apresenta de maneira clara e concisa a preocupação com a Conservação do Solo no Estado. Em seu artigo primeiro, traz:

[...] o solo agrícola é Patrimônio Nacional e, por consequência, cabe ao Estado, aos proprietários de direito, aos ocupantes temporários e a comunidade preservá-lo, exercendo-se nele o direito de propriedade ou a posse temporária com as limitações estabelecidas no código de uso do solo agrícola para o Estado do Paraná (BRASIL, 1984, p. 72).

Cronologicamente, conforme relata Farias (2010), outros programas marcaram o estado, a exemplo do Programa de Manejo Integrado dos solos do Paraná/ PMIS, a partir do ano de 1983, fundamentado nas microbacias hidrográficas e com base nos trabalhos que a Emater já vinha desenvolvendo. Não obstante a isso, em 1987, a Secretaria Estadual de Agricultura lança o Programa de Manejo Integrado dos Solos e da Água, passando a incluir explicitamente o componente hídrico, cuja qualidade é indissociável do uso e do manejo do solo. Mais tarde, em 1989, se estabelecia outra ação sucessora das anteriores, denominada Programa Paraná Rural, intensamente baseado nas microbacias hidrográficas como unidade de trabalho e chegou a atender em cerca de 3.000 unidades ao longo de sua consecução.

O novo século da mesma maneira foi marcado por linhas similares, a exemplo do Projeto de Gestão Ambiental Integrada em Microbacias, do Programa de Gestão de Solos e Água em Microbacias e, mais recentemente, em 2016, do Programa Integrado de Conservação de Solo e Água do Paraná – PROSOLO PARANÁ. Mais uma vez, a aposta destes é na qualificação de recursos humanos em ciência do solo. Com metodologias similares, esses últimos deram um enfoque sistêmico e integrado em planos de manejo conservacionistas a nível das bacias hidrográficas e de propriedades rurais, estreitando laços entre o ensino, a pesquisa e a extensão. Estes últimos buscaram desenvolver ações tanto individuais quanto coletivas, por meio da combinação de um conjunto de práticas de melhoria das condições químicas, físicas e biológicas do solo, com um conjunto de práticas de controle do escoamento superficial, adotando os preceitos de sustentabilidade.

Despertamos atenção no sentido da continuidade e efetividade, haja vista que o estado do Paraná desenvolve(eu) ações praticamente contínuas no âmbito da conservação do solo e água. Considerando-se o alinhamento destas ao longo do tempo, há de se conceber que

as causas da erosão hídrica já são conhecidas, bem como as estratégias técnicas para combatê-las. O que torna a questão ainda mais complexa é compreender por que a erosão se mantém, do que saber mais sobre como mitigá-la.

### 3.4 PROCESSOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS E A EROSÃO DO SOLO

Foi no início do século XX que a sistematização dos estudos voltados para a erosão do solo emergiu como matéria, justamente com o despertar da importância do planejamento de uso e ocupação do solo (MARTINS, 2004).

Mesmo sendo conhecida a importância que os solos têm para com a perpetuação da espécie humana, da vida vegetal e animal na Terra, é fato que as preocupações do homem em relação a esse bem natural têm sido superficiais, principalmente no que diz respeito à sua utilização e conservação (GUERRA et al., 1995). Wild (1993) destaca que o solo é um dos recursos que o homem utiliza considerando-o infinito, excetuando-se admitir o período necessário para a sua recuperação. Pode se observar que, normalmente, os investimentos que incidem sobre o solo, na maioria dos casos, estão voltados às características agrônômicas de produção e colheita, raramente para conservá-lo (GUERRA et al., 1995). A observação e ocorrência, dos processos erosivos, independente de grau de estabelecimento, são, de qualquer forma, sintomas de declínio da fertilidade do solo.

A degradação do solo e da água aumentam exponencialmente, atingindo níveis críticos que se refletem na deterioração do ambiente físico, causando impactos que extrapolam a origem do seu processo, já que tem provocado não só o empobrecimento do solo, mas também deslizamentos, assoreamento e eutrofização de corpos d'água, além de poluição de mananciais, implicando em prejuízos para a saúde humana e animal, na destruição da infraestrutura viária, na geração de energia, na disponibilidade de água para irrigação e para abastecimento, na redução da produtividade agrícola, na diminuição da renda líquida e, conseqüentemente, no empobrecimento da sociedade, com reflexos danosos para a economia (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990, p. 24).

Apesar de tido como natural, em uma abordagem mais conservacionista, o processo erosivo é acelerado pelas atividades humanas, principalmente pela antropização dos ambientes. Morgan et al. (1986) definem que a erosão dos solos é a taxa de perda deste acima das condições naturais. Assim, a erosão e a posterior deposição de sedimentos são processos complementares, pois as partículas do solo uma vez removidas de áreas mais

suscetíveis são depositadas em áreas mais planas e com menores declividades, que de maneira comum são severamente afetadas, pois possuem suas estruturas totalmente alteradas ao ambiente que a precede (RUHOFF, 2004, p. 47).

Com relação aos fatores de produção, a perda de solos por erosão se reflete diretamente na diminuição da capacidade produtiva, fato que se explica devido à remoção dos horizontes superficiais, normalmente mais ricos em matéria orgânica. Quanto aos reflexos na hidrologia, a erosão dos solos implica em alterações na morfologia dos rios, alterando, também, a funcionalidade da rede de drenagem. De acordo com Schroeder (1993), com o assoreamento dos corpos hídricos, reduz-se a capacidade de transporte e armazenamento de água, refletindo diretamente na diminuição do potencial hídrico e na quantidade de água disponível. Considera-se, ainda, que os excedentes hídricos carregados até a rede de drenagem da bacia hidrográfica transportam sedimentos, nutrientes e agroquímicos com potencial poluidor às águas superficiais. Especificamente esse processo é tido como de poluição difusa, ou seja, oriunda do escoamento superficial, não obstante, é denominada poluição de origem não pontual.

Existe uma relação direta e proporcional da qualidade de água dos mananciais que compõem uma bacia hidrográfica com o uso e ocupação do solo na unidade hidrográfica e com o grau de controle sobre as fontes de poluição (TUCCI, 1993). Corroborando com essa ideia, Azevedo Netto (1991) propõe que a água transporta substâncias e organismos oriundos de seu caminho. Dessa maneira, Ward & Elliot (1995) citam que o sedimento é, provavelmente, o mais significativo de todos os agentes carregados em razão de sua concentração na água, seus impactos no uso da água e seus efeitos no transporte de outros poluentes. O volume de um sedimento transportado por um curso hídrico é um componente de fundamental importância a ser considerado para o planejamento e operação das obras hidráulicas (SANTOS, 2010).

Na gestão ambiental, a poluição das águas por fontes difusas tem sido admitida como resultado de práticas de uso do solo sem cuidado ou sem planejamento. Dado que a complexidade do manejo da poluição de origem difusa em unidades hidrográficas está associada à natureza dos processos envolvidos e à dificuldade de se desenvolver procedimentos para a eliminação ou mitigação de seus desdobramentos. Considerando que se estendem por extensas áreas e exercem influência de forma intermitente, as fontes difusas são difíceis de serem identificadas e quantificadas (BROOKS et al., 1991).

Conceitualmente, a dinâmica erosiva consiste no processo de desprendimento e transporte das partículas de solo causadas pela ação da água ou do vento. A erosão hídrica, no cenário nacional apresenta maior relevância por ter maior ocorrência, por se processar com maior rapidez e causar grandes prejuízos não apenas à agricultura, como também, a outras atividades econômicas e ao meio ambiente físico (PRUSKI et al., 2006).

Operacionalmente, a física erosiva se processa resumidamente em duas modalidades: *on set* e *off set*. Os desdobramentos da etapa do *on set* são os que ocorrem em nível de terreno, geralmente associados a alterações da estrutura do solo, conformação e fertilidade. Já os efeitos do *off set* são aqueles que alcançam os cursos d'água e reservatórios, aumentando o risco de enchentes, ao passo que encurta o tempo de vida útil de reservatórios (VAN ROMPAEY et al. 2005).

Braga (2000) afirma que a taxa de escoamento superficial é um dos principais condicionantes da erosão do solo, uma vez que promove o transporte de partículas do solo em suspensão, fertilizantes químicos, matéria orgânica, sementes e agrotóxicos que, além de causarem prejuízos diretos à produção agropecuária, também podem causar a poluição dos cursos d'água. Ao término do ciclo, a última etapa do processo de erosão do solo é a disposição dos sedimentos gerados que acontece quando a energia cinética do escoamento não é mais suficiente para transpor às obstruções do terreno.

Conforme apresenta Bertoni e Lombardi Neto (2005) a erosão é causada por forças ativas, como as características de volume e intensidade da precipitação, a declividade do terreno e, desta, seu comprimento de rampa e a capacidade que tem o solo de receber e infiltrar água; e por forças passivas, como a resistência que exerce o solo de absorver à ação erosiva da água e a densidade da cobertura vegetal. Por este viés, admite-se que a retirada da vegetação natural para o desenvolvimento da agricultura aumenta a superfície do solo exposto, com óbvia diminuição da produção natural da vegetação. Essa perda de produção diminui o potencial de infiltração do solo, aumenta o escoamento superficial e resulta em grande perda de solo.

A capacidade que um determinado solo tem de, naturalmente, resistir às forças erosivas, é concebido como suscetibilidade ou “resistência” à erosão. Conforme Alvarenga e Souza (1997) a erosão é causada pela perda diferenciada de solo em função de sua suscetibilidade à erosão. Assim, diferentes solos podem ser mais ou menos suscetíveis dependendo dos fatores específicos, os quais influenciam diretamente a erosão, destacando a

pedoforma, textura, estrutura, teor de materiais de origem, classes de capacidade de uso do solo, técnicas de preparo, manejo e cultivo.

Sendo conhecido, então, que diferentes tipos de solos podem apresentar susceptibilidades distintas à erosão mesmo para condições semelhantes de topografia, cobertura vegetal e práticas de manejo, admite-se tal condição devido às propriedades do próprio solo que são denominadas erodibilidade do solo, as quais são aquelas que afetam a taxa de infiltração da água no solo, associada à sua resistência ao cisalhamento (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985). As principais propriedades intrínsecas do solo que determinam sua amplitude de erodibilidade são a porosidade, textura, densidade, teor de matéria orgânica e ph.

Admitindo-se que o processo erosivo-sedimentológico é compreendido dentro de um ciclo fechado, ressalta-se que as consequências da erosão, sob o ponto de vista da perda de solo, são matérias bastante discutidas e de suma importância em termos de planejamento e gestão ambiental. Mesmo que os estudos da erosão do solo sejam muito recentes se comparados à grande maioria das ciências agrícolas (LANE et al., 1992), a pesquisa científica sobre erosão emerge intensamente sob diversas abordagens, no sentido de produzir conhecimento técnico-científico dentro de áreas como hidrologia, geomorfologia, pedologia, agronomia, entre outros.

Para o interesse científico, as pesquisas sobre erosão norteiam-se, basicamente, pelos condicionantes da erodibilidade de um dado solo, que representa o efeito integrado dos processos que regulam a infiltração da água e resistência do solo, a degradação e transporte de partículas, refere-se à predisposição à erosão, os quais podem variar de solo para solo e com o tipo de manejo (SILVA et al., 2000). Práticas de manejo em unidades hidrográficas, assim como o uso da terra afetam diretamente a erosão, sedimentação e qualidade de água, pelas variações nos processos hidrológicos (BROOKS et al., 1991).

Chistofolletti (1988) aponta que estudos mais aprofundados relativos às bacias hidrográficas, dependem da compreensão e estratificação da dinâmica do escoamento fluvial responsável pela ação dos sedimentos do leito fluvial, no transporte de sedimentos, bem como nos mecanismos de deposição e na alteração da topografia do leito. Dessa maneira, os esforços concentrados para os problemas ambientais, principalmente associados a processos erosivos em unidades hidrográficas, são grandes, exigindo que estudos hidrológicos sejam de natureza interdisciplinar, envolvendo profissionais e abordagens nas mais diversas áreas,



como: agronomia, biologia, engenharia, geografia, geologia, geomorfologia, paisagismo e planejamento regional.

A pluviometria de uma dada área é um dos elementos naturais de maior relevância na erosão do solo, uma vez que a erosão hidricamente produzida é a forma mais significativa no Brasil (DECHEN et al., 2014). O impacto das gotas de chuvas gera uma energia cinética com intensas forças de pressão e cisalhamento, que se localizam nos pontos específicos do impacto e podem desagregar grandes quantidades de partículas do solo (ELLISON, 1947; AL DURRAH; BRADFORD, 1982). Para Mota (1981), a erosão hídrica se desenvolve, basicamente, por meio de dois processos distintos: a redução dos agregados do solo a finas partículas e seu transporte a locais distantes de deposição.

Assim, se o processo físico das forças de desagregação for minimizado automaticamente o ciclo do processo erosivo será de menor intensidade. Assim, a cobertura vegetal tem um papel fundamental, dado que seguramente atenua os impactos das gotas de chuva, diminuindo a velocidade de escoamento da enxurrada e, conseqüentemente, o transporte de sedimentos. A manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo eleva a rugosidade hidráulica dessa superfície, reduzindo a velocidade e aumentando a profundidade do fluxo superficial (FOSTER et al., 1982; VOLK et al., 2004).

A conformação topográfica de qualquer unidade hidrográfica é de grande consideração para avaliar a sua suscetibilidade à erosão, sendo que quanto maior a inclinação da vertente, maior o escoamento superficial que nela se desencadeia e maior a energia aplicada ao solo. Dessa maneira, a declividade exerce acentuada influência sobre a erosão, o tamanho e a quantidade de material em suspensão arrastado pela água (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005, p. 18-25).

Todos os fatores que influenciam as taxas de infiltração de água do solo, obrigatoriamente estão relacionados ao escoamento superficial resultante, que é uma função de vários condicionantes, os quais podem ser classificados em agroclimáticos e fisiográficos (PRUSKI et al. 2006). Os parâmetros agroclimáticos se destacam pela intensidade e a duração das chuvas, a cobertura vegetal, tipos de uso do solo, e a evapotranspiração, ao passo que os fatores fisiográficos abrangem a área da declividade e forma da bacia, tipos de solo, topografia, rede de drenagem e influências hidráulicas presentes na unidade hidrográfica (ZANETTI, 2007, p. 41).

A morfometria da bacia hidrográfica apresenta uma relação linear com a carga de sedimentos, de maneira que, à medida que o tamanho da bacia aumenta, a produção de

sedimentos por unidade de área diminui. Essa relação é resultado convergente de o aumento na probabilidade do sedimento ser depositado ou armazenado em porções da bacia antes de alcançar os cursos hídricos em grandes bacias hidrográficas. Contrariamente, as bacias pequenas são mais íngremes, fato que aumenta a energia disponível para erosão do solo e transporte de sedimentos. De acordo com Tucci (1998), é possível estimar a produção de sedimentos tomando como base o volume de material dragado dos canais, por meio da avaliação de assoreamento de lagos, a partir de valores típicos relacionados aos níveis e tipos de urbanização ou por meio de equações típicas.

Uma grande dificuldade nos estudos hidrossedimentológicos tem sido a quantificação dos mesmos com clareza no tempo e espaço, dada a complexidade e a rede de condicionantes integrados ou não que os influenciam. Nenhum método de pesquisa em erosão possui magnitude suficiente para ser utilizado exclusivamente e fornecer resultados sólidos e seguros para tomada de decisões em atividades conservacionistas (LANE et al., 1992). A maioria das metodologias são limitadas e algumas delas quantificam apenas parte do processo erosivo de forma compartimentalizada, o qual é formado por uma complexa interação de vários fatores climáticos, pedológicos, antropológicos e de outras naturezas, sendo o ideal o uso de métodos que se complementam e, juntos, possibilitam uma compreensão global mais próxima da realidade. Tucci (1993) afirma que quantificar os processo erosivos trata-se de uma metodologia muito complexa, da qual não se pode esperar resultados muito precisos.

Nos últimos anos, o emprego de modelos matemáticos tem tido expressão na predição do processo erosivo, tanto para o planejamento conservacionista em regime de prevenção, como no seu controle. A modelagem hidrológica se trata de descrições matemáticas usadas para representar os processos erosivos que se aproximam do ambiente real e da sintetização dos fenômenos naturais. Ela é utilizada para o dimensionamento de estruturas de controle de erosão, avaliação de práticas de manejo da terra e avaliação e planejamento ambiental. Dentre os principais pontos positivos da aplicação de modelos, reside na possibilidade do estudo de vários cenários diferentes, tais como as piores projeções admitidas e diferentes tipos de manejo e práticas conservacionistas, com baixo custo e de forma rápida, além dos estudos de grandes áreas em ambiente projetado. Todavia, para que se tenha sucesso na aplicação de modelos de predição de erosão no planejamento de uso da terra ou controle do processo erosivo, devem-se levar em conta critérios importantes que dizem respeito à sua operacionalização, a estrutura do modelo aos dados disponíveis e ao custo de sua obtenção, entre outros fatores (TUCCI, 1993, p. 25).

### 3.5 GEOTECNOLOGIAS, SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG's) A GESTÃO AMBIENTAL

O Geoprocessamento pode ser caracterizado como o conjunto de tecnologias de coleta e tratamento de informações espaciais e de desenvolvimento e uso de sistemas que as utilizam (RODRIGUES, 1990, p. 21).

Conforme Mendes (1998), a utilização de técnicas de Geoprocessamento constitui-se em instrumento de grande potencial para o estabelecimento de planos integrados de conservação do solo e da água. Neste contexto, os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) se inserem como uma ferramenta que tem a capacidade de manipular as funções que representam os processos ambientais em diversas regiões, de uma forma simples e eficiente, permitindo uma economia de recursos e tempo. Estas manipulações permitem agregar dados de diferentes fontes (imagens de satélite, mapas topográficos, mapas de solos, hidrografia, etc.) e em diferentes escalas. O resultado destas manipulações geralmente é apresentado sob a forma de mapas temáticos com as informações desejadas.

As aplicações dos SIGs são incontáveis, podendo-se citar como exemplos: monitoramento e análise ambiental; planejamento de uso da terra; manejo de recursos naturais; projetos de engenharia (transportes, irrigação, mineração, etc.); e manejo florestal (VETTORAZZI, 1992, p. 78).

Os Sistemas de Informações Geográficas são uma tecnologia que tem sido desenvolvida para lidar com informações espaciais e tem muitas aplicações ambientais, sociais e econômicas. Eles são idealmente adequados para combinar informações topográficas, de solos, uso da terra e meteorológicas para pequenas áreas dentro da bacia, em que é possível visualizar cenários passados, atuais e simular cenários futuros (GRIGG, 1996). Uma vez que o uso de modelos é limitado pela necessidade de dados espaciais, e que os SIGs têm uma grande facilidade em manipular esses dados, a união dessas duas tecnologias representa um importante passo para o manejo de poluições não pontuais (WILSON & WANG, 1998).

A integração de modelos ambientais e dos SIGs se apresenta como um vasto campo para a ciência ligada ao Geoprocessamento, meio ambiente e agricultura. Após a expansão de

pesquisas baseadas em SIG no final da década de 1980, é evidente o desenvolvimento de uma nova onda de interesse em SIG pelas ciências do meio ambiente (ex: ecologia, biologia e hidrologia), agricultura (agricultura de precisão e planejamento do uso da terra), dado o número de pesquisadores envolvidos na integração de modelos ligados à agricultura e ao meio ambiente à tecnologia SIG (BACELLAR, 1994; CARVER et al., 1995; SHIRMOHAMMADI et al., 1994; e HARTKAMP et al., 1999). Essa combinação permite uma análise espacial e temporal, e determina a capacidade desses novos sistemas computacionais em melhorar e prover informações sobre erosão e poluição.

A integração do SIG com os modelos hidrológicos e a sua aplicação em bacias hidrográficas permitem a realização de um grande número de operações, como o projeto, calibração, simulação e comparação entre os modelos. O uso do SIG permite, portanto, subdividir a bacia hidrográfica em subáreas homogêneas (CALIJURI et al., 1998, p. 46).

### 3.5.1 A Modelagem Hidrológica e a Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas

Nos últimos anos a gestão ambiental tem assumido maior relevância nas políticas públicas que estão sendo pensadas, não somente pelo viés da conservação e proteção dos recursos naturais, mas com a concepção de desenvolvimento local e regional. Essa visão vem integrar o contexto sociocultural e a relação homem *versus* meio ambiente, com objetivo de atingir uma melhor qualidade de vida. A noção de desenvolvimento como sinônimo de crescimento já sofreu várias críticas, pois o desenvolvimento deve equacionar elementos das ordens sociais, econômicas e ambientais. Porém, para que isso ocorra é necessário, obrigatoriamente, que o aporte científico estabeleça diretrizes claras e objetivas, além da própria produção de conhecimento estar voltada para tecnologias e saberes que garantam a equidade dos elementos formadores do desenvolvimento. É admitido que as geotecnologias seguramente forneçam contribuições à compreensão das práticas sociais e do seu relacionamento com a dinâmica física e biológica do ambiente em que a sociedade se insere (SANTOS, 2004, p. 56).

A bacia hidrográfica, além de se constituir em um ecossistema geograficamente definido, é objeto de estudo e aplicação da maioria dos modelos hidrológicos, uma vez que estas superfícies que captam e despejam água sobre um ou mais canais de escoamento desembocam numa única saída. Por definição, um modelo hidrológico pode ser compreendido como uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte

da superfície e/ou subsuperfície terrestre, com objetivo de quantificar, estimar e/ou prever esse processo (SANTOS, 2004, p. 78-82).

Nesse contexto, as abordagens sob as dinâmicas das bacias hidrográficas se tornam uma importante ferramenta para o diagnóstico ambiental. Assim, especificamente as unidades hidrográficas podem, ou não, estar monitoradas, uma vez que a instrumentação e o monitoramento dependem das respostas que se desejam obter além das condições operacionais disponíveis. Dessa forma, as análises das bacias hidrográficas experimentais instrumentadas assumem maior relevância por resultar, normalmente, em estudos mais pormenorizados e com uma melhor caracterização dos indicadores analisados, considerando a precisão e a acurácia dos dados observados e das respostas aos fatores externos. É importante destacar, que o conhecimento gerado em uma bacia instrumentada pode ser transposto para regiões hidroclimatologicamente semelhantes e sem monitoramento por intermédio da regionalização e da modelagem (CARVALHO NETTO, 2011, p. 96),

Corroborando com o assunto, Fontes et al. (2009), afirmam que essas bacias configuram como laboratórios de campo, densamente equipadas para estudos detalhados dos processos físicos dentro do ciclo hidrológico. Ainda, os resultados obtidos podem subsidiar os processos de regionalização de informações, preenchendo a lacuna da falta de monitoramento das variáveis, que são de suma importância para a gestão dos recursos hídricos. Vindo ao encontro da reflexão feita acima, os autores também afirmam que os estudos realizados em bacias experimentais podem extrair diretrizes de gestão aplicáveis em locais onde não existem informações.

Um modelo pode ser definido como uma representação simplificada de uma dada realidade, auxiliando na compreensão da dinâmica da ocorrência dos processos físicos que a regem. Constitui-se numa representação conceitual de um fenômeno e, na maioria dos casos, se refere a apenas algum aspecto do fenômeno mensurado, dada a complexidade da análise simultânea dos mesmos. Especificamente, um modelo hidrológico realiza, por meio do seu processamento funcional, a representação matemática do fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte da superfície e/ou subsuperfície terrestre, analisando os componentes do ciclo hidrológico. Dessa forma, a modelagem hídrica possui elevado potencial para caracterizar a disponibilidade hídrica em condições de mudanças de climas ou no uso de solo (RENNÓ; SOARES, 2008). Um dos aspectos mais importantes da modelagem hidrológica é que pode ser uma ferramenta capaz de antecipar eventos antes que esses ocorram e apontar

alternativas sustentáveis que conduzam à manutenção da capacidade produtiva do ambiente, tal qual melhor se adapta à situação projetada (RUHOFF, 2004).

Para gestores ambientais a modelagem hídrica é fundamental em análises de processos físicos em bacias hidrográficas, bem como para desenvolver e avaliar distintos cenários de manejo. Nesse sentido, permite a flexibilidade em ambiente virtual, traduzindo para uma base, um melhor entendimento dos processos hidrológicos, bem como para avaliar os impactos das atividades antrópicas sobre o meio ambiente (SANTOS, 2010).

É, além disso, considerada uma técnica que possibilita uma melhor compreensão e representação do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas, sendo que possuem grande potencial para caracterizar a disponibilidade hídrica em condições de mudanças de clima ou no uso de solo. O avanço dos sistemas computacionais permitiu as condições que propiciaram um acelerado processo de desenvolvimento de modelos hidrológicos baseados em conceitos físicos, sendo uma alternativa em relação aos modelos até então existentes e que utilizam somente métodos estatísticos (TUCCI, 2005, p. 47).

No que diz respeito à prospecção de cenários distintos, a modelagem hidrológica contribui para a tomada de decisões mediante a avaliação das interações subjetivas postas na funcionalidade do modelo, que permitem a simulação de diferentes situações executados com baixo custo e rapidez. Essa é uma das vantagens da aplicação de modelos hidrológicos em estudos ambientais, pois, normalmente, o custo para executar um programa computacional é muitas vezes menor do que o correspondente custo relativo à investigação experimental (SANTOS, 2004, p. 96).

Por outro lado, a geociência computacional da modelagem apresenta alguns limitantes, como por exemplo, ser praticamente impossível ou inviável reproduzir todas as relações existentes entre os diferentes componentes de um fenômeno em parâmetros matemáticos. Pois, essas relações são extremamente complexas, tipicamente tridimensionais e dependentes do tempo, a ponto de não existir uma formulação matemática capaz de descrevê-las em sua plenitude, ou ainda, pela carência de conhecimento científico acerca de todos os processos envolvidos nessas relações. Soma-se a esse fato a escassez de dados confiáveis. Assim, se faz necessário que ampliem-se os estudos e banco de dados da rede física e climatológica no Brasil.

Portanto, podemos aferir que a modelagem hidrológica é uma excelente ferramenta de suporte para a tomada de decisão em projetos que possuam relações com os recursos hídricos, tornando possível adotar medidas mais eficientes na condução das atividades. Pela

modelagem ser capaz de se relacionar dialeticamente e ser um sistema integrado de sucessivas interações, torna possível simular diversas situações ambientais, podendo apresentar os riscos, os potenciais de uso, as fragilidades ou proteções, de forma direta ou indireta, dimensionadas ou projetadas por meio de modelos matemáticos digitais, tendo como fundamento contribuir para a exploração racional dos recursos físicos, bióticos e socioeconômicos, atingindo, desse modo, a real gestão ambiental, capaz de gerir racionalmente e metodicamente a ocorrência de um fenômeno e seus impactos, antes mesmo que ocorram.

### 3.5.2 O Modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT) e suas Aplicações no Brasil

Quando pensamos em modelos, podemos compreender como a expressão que sintetiza os fenômenos da realidade. Segundo Batchelor (1994, p. 247), modelos podem ser definidos como “uma proposição simplificada da natureza com o propósito de conhecer um fenômeno”. Para Tim (1996, p. 878) “são ferramentas extraordinárias para conhecer os processos ambientais”.

A modelagem hidrológica tem como objetivo primordial compreender, dentro de uma abordagem genérica, o sistema hidrológico como um todo, predizendo situações futuras e até reproduzindo o passado, com a finalidade de orientar a tomada de decisões dos gestores. SWAT é um modelo matemático que permite a manipulação de diferentes processos físicos e que simula eventos erosivos em bacias hidrográficas. O objetivo do modelo é dar suporte à análise dos impactos das alterações no uso do solo sobre o escoamento superficial e subterrâneo das águas pluviais, da produção de sedimentos e da qualidade da água também em bacias hidrográficas agrícolas não instrumentadas. Dessa forma, com a predição de diferentes cenários, é possível planejar formas de organização de uso e ocupação do solo de acordo com os preceitos de sustentabilidade, servindo como uma ferramenta potencialmente útil aos gestores públicos e órgãos governamentais (SANTOS, 2004, p. 74).

A crescente preocupação em relação à conservação dos recursos hídricos e à preservação do meio ambiente, demonstram que o uso adequado do solo e a cobertura vegetal estão intimamente relacionados. Bressiani et al. (2015) trazem que, devido às proporções continentais do território brasileiro, existe uma grande variabilidade climática entre as diferentes regiões do país, como também, a ocorrência de diferentes biomas, surgindo a necessidade de uma gama de ferramentas que auxiliem na tomada de decisões referentes ao manejo dos recursos naturais. Neste contexto, a modelagem de bacias hidrográficas aparece

como uma poderosa ferramenta de gestão de recursos hídricos, especificamente o modelo hidrológico SWAT como um dos mais consistentes e utilizados mundialmente.

O modelo SWAT foi desenvolvido pelo *Agricultural Research Service/United States Department of Agriculture* (ARS/USDA), Estados Unidos da América, e permite a modelagem hidrológica de bacias hidrográficas, bem como a análise de diversos cenários. A modelagem pode estar baseada na predição dos impactos do manejo do solo sobre a qualidade da água, do transporte de sedimentos e do transporte de químicos agrícolas, além de permitir a modelagem de grandes bacias hidrográficas com diferentes tipos e usos do solo ao longo de grandes intervalos de tempo (NEITSCH et al., 2005).

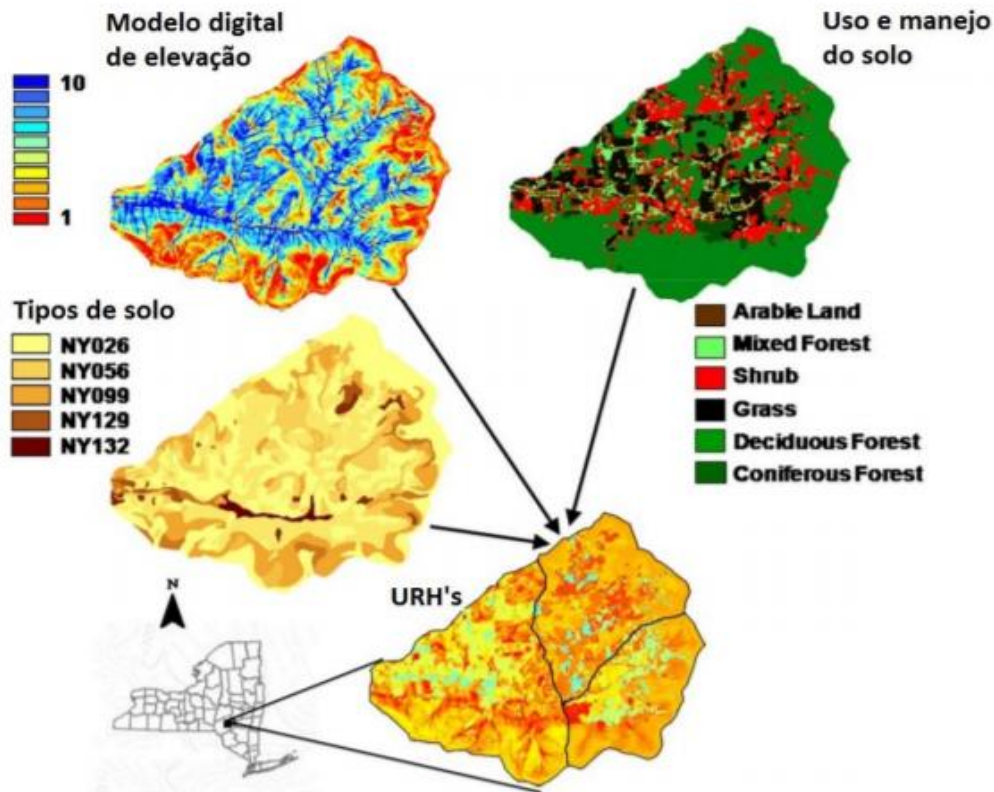
Assim como outros modelos com características semelhantes, este permite a integração com sistemas de informações geográficas (SIGs), a exemplo da interface ArcSWAT, que funciona como uma extensão do SIG ArcView e permite a utilização de suas ferramentas de geoprocessamento como suporte às etapas de modelagens. Além, de facilitar tornando mais intuitiva a alimentação com os dados de entrada do modelo e a geração dos parâmetros de saída (gráficos, tabelas e mapas) (TIM, 1996, p. 125).

Simplificadamente, conforme Caetano et al. (2008), a operacionalização de parte do modelo digital de terreno, em que o SWAT começa por delinear o padrão de drenagem, sendo a densidade hidrográfica selecionada pelo utilizador. Isto permite esboçar a foz e o contorno da bacia, após o que o modelo associa aos cursos de água, a montante da foz as respectivas sub-bacias que são, em seguida, subdivididas em unidades de resposta hidrológica (URHs). As URHs consistem em setores da sub-bacia que são homogêneas relativamente à topografia, solo e uso do solo, e que uma vez delimitadas são caracterizadas relativamente às suas propriedades geométricas, hidrológicas e climáticas.

Após esta caracterização, o SWAT procede ao cálculo das componentes do escoamento associadas a cada uma das URHs, recorrendo a equações de balanço de água e a modelos de fluxo adaptados às condições de escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo, conforme fluxograma apresentado na Figura 1. A partir daí, o modelo executa novas delimitações espaciais dentro das sub-bacias, geradas por meio da sobreposição dos mapas de tipo de solo, uso e manejo do solo e do modelo digital de elevação, conforme Figura 2.



**Figura 1: Composição das unidades de resposta hidrológica (URH) a partir dos mapas de tipo de solo, cobertura vegetal e topografia.**

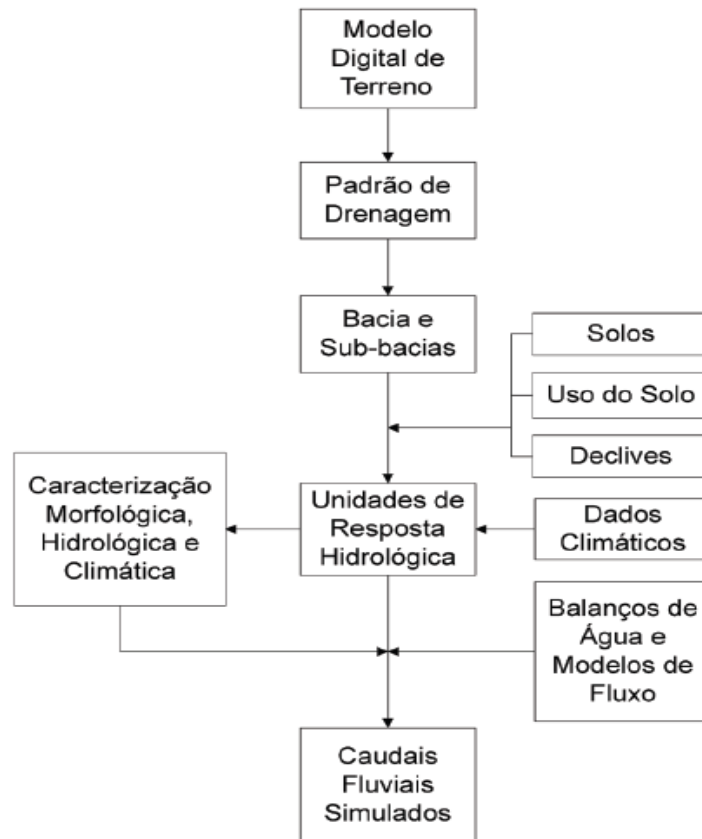


Fonte: Easton et al., (2008).

Em cada URH gerada é atribuída apenas uma classe de solo e um uso e manejo, representando, assim, discretizações do espaço interno das sub-bacias. Então, as URHs são utilizadas como unidades para os cálculos realizados pelo modelo e a finalidade desta subdivisão é justificada pelo ganho de tempo no processamento do SWAT nas áreas com características físicas iguais, nas quais a resposta hidrológica é a mesma (NEITSCH et al., 2005).

Uma das primeiras etapas da modelagem no SWAT é a delimitação da bacia e das sub-bacias, que são geradas a partir do modelo digital de elevação da área de estudo, ou por meio de uma bacia anteriormente vetorizada com as sub-bacias.

**Figura 2: Fluxograma Simplificado Operacional do Modelo Hidrológico SWAT**



Fonte: Adaptado de Caetano et al. (2008)

Indiferente do objetivo da utilização do modelo SWAT, sua funcionalidade segue, obrigatoriamente, uma função do balanço hídrico existente que ocorre na bacia hidrográfica. Dessa maneira, o processamento do modelo SWAT pode ser resumido nas seguintes etapas: inicialmente são calculados os fluxos para cada URH; posteriormente, os resultados de cada URH são agregados por sub-bacia; finalmente, as respostas para cada sub-bacia são direcionadas para a rede de drenagem existente na bacia hidrográfica (SALLES, 2012; NEITSCH et al., 2005).

No Brasil, a aplicação da modelagem hidrológica para avaliação do solo em escala de bacias hidrográficas tem aumentado consideravelmente nos últimos anos. Conforme apresentam Bressiani et al. (2015), existe a análise de mais de 100 estudos envolvendo o modelo SWAT durante o período 1999-2015 no Brasil, sendo publicados em periódicos nacionais e internacionais, anais de conferências, teses e dissertações. As aplicações se estendem desde a capacidade do modelo de representar satisfatoriamente as bacias hidrográficas brasileiras, até análises mais complexas, como a avaliação do impacto causado em bacias (alteração do volume de água escoado superficialmente, transporte de sedimentos e

aditivos agrícolas) pelas alterações de uso e ocupação do solo e/ou pela supressão da vegetação nativa.

A maior parte das abordagens do modelo hidrológico SWAT no cenário nacional tem o caráter de avaliação da distribuição temporal e espacial de sedimentos, envolvendo a calibração e validação hidrológica em bacias monitoradas. Um subconjunto menor de estudos está estritamente delimitado na ênfase em resultados hidrológicos e de sedimentos de teste de transporte, aplicado comparativamente a diferentes cenários do uso da terra usando o modelo SWAT, avaliando e analisando os efeitos dessas alterações.

No contexto da aplicabilidade do SWAT, encontramos na literatura o trabalho desenvolvido por Junqueira e Silva (2008) correspondente às áreas urbanas. O trabalho teve como objetivo analisar três metodologias de planejamento e gestão ambiental que poderiam ser aplicadas em bacias hidrográficas, sendo elas AMORIM & CORDEIRO, PESMU e o SWAT. A pesquisa foi desenvolvida a partir da seleção de características que atendessem às demandas dos gestores nas tomadas de decisões e no planejamento ambiental, os fatores escolhidos foram: confiabilidade, validação científica, padronização, interpretabilidade, representatividade, indicadores e a acessibilidade.

Nesse sentido, os autores acima concluíram que, entre os três métodos, não existe o melhor e sim aquele mais adaptado para cada caso, pois possuem técnicas de avaliação diferenciadas e todos eles auxiliam na tomada de decisão. Ainda, em relação à conclusão sobre o modelo SWAT, os autores apontam que esse foi desenvolvido para grandes escalas e pode ser subdividido em escalas menores para se adaptar às bacias, se tornando o mais complexo entre os três, além de analisar mais profundamente as características físicas das bacias o que o torna mais flexível na interface com o SIG, já os métodos AMORIM & CORDEIRO e o PESMU teriam um enfoque global para o diagnóstico.

Para Andriolo et al. (2008), o modelo foi calibrado e validado para simular a produção e o transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Apucarantina, no norte do estado do Paraná. De acordo com os autores, o SWAT apresenta algumas características importantes para as simulações, tais como: incorpora equações que permite relacionar diversas variáveis físicas existentes, pode ser aplicado em bacias e sub-bacias hidrográficas, utiliza informações disponíveis, é computacionalmente eficiente e simula longos períodos, o que é de suma importância para a gestão dos impactos ambientais. Dessa forma, os autores apontam que o modelo apresenta boa aplicabilidade e capacidade de reproduzir as condições de sedimentos, principalmente em médio prazo, porém ressaltam, em suas conclusões, que é

necessário montar um banco de dados com informações para as simulações, pois essa seria uma fase trabalhosa e, quando a bacia/região é utilizada pela primeira, vez existe falta de elementos para a simulação.

Nesse contexto, da necessidade da formação de um banco de dados para o modelo SWAT, teremos outro trabalho que vem contribuir com esse pensamento. A utilização do modelo por Medeiros et al. (2013) foi para simular a produção de sedimentos da bacia experimental de São João de Cariri, engloba vários estados do nordeste brasileiro, tendo como objetivo verificar o modelo como uma ferramenta no gerenciamento do uso dos solos em bacias. Nesse sentido, o trabalho traz que o SWAT é um modelo de simulação rápida e que possibilita verificar diversas situações, bem como a eficácia do modelo em analisar a produção de sedimentos de uma forma geral, mas, em relação à análise diária, a simulação não correspondeu às expectativas, apresentando erros nos dados simulados e nos observados. Os autores atribuem esses erros à fase de calibração do modelo, por ser uma etapa complexa, corroborando com a ideia da construção do banco de dados.

Nos seus estudos, Salles (2012) analisou os sistemas hidrológicos através de simulações com modelos de chuva-vazão e as consequências desses processos no uso do solo em bacias hidrográficas. Para tal análise, foram realizadas simulações da vazão na bacia hidrográfica do ribeirão Pípiripau, sub-bacia do rio São Bartolomeu, estado do Paraná, utilizando, assim, o modelo hidrológico SWAT. O modelo foi calibrado manualmente com informações referentes à vazão média mensal, pelo período de 10 anos da bacia hidrográfica, dessa maneira, realizando várias simulações. Como resultado final, o autor conclui que o modelo SWAT simula satisfatoriamente as vazões médias do ribeirão, o que indica o potencial de aplicação do modelo nas bacias, bem com os resultados obtidos estão condizentes com outras pesquisas realizadas.

Santana (2015) aplicou o SWAT para determinar o efeito da variabilidade de cenários de uso do solo, sobre a dinâmica da vazão e da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Jacaré, no estado de Sergipe.

Britto (2015) utilizou o modelo para avaliar o uso de agrotóxicos na bacia hidrográfica do rio Betume, ambos na região do Baixo São Francisco, também no estado de Sergipe. Em ambos os estudos, os pesquisadores obtiveram dados e informações importantes para o desenvolvimento das bacias hidrográficas analisadas no contexto previsto.

Machado (2013) fez uso do modelo para monitorar a bacia hidrográfica do rio Siriri, no estado de Sergipe, na abordagem indicou que a maior produção de água se localiza nas áreas de maiores declividades e que são ocupadas por florestas.

Já Lelis (2011), identificou na bacia do Ribeirão São Bartolomeu, zona da mata de Minas Gerais, uma redução na produção de escoamento superficial e sedimentos, quando suprimiu 15% da pastagem em substituição de floresta nativa, enquanto alterando a área de floresta por pastagem em 25% ocorreu um aumento na produção de sedimento e um decréscimo na produção de escoamento superficial.

Carvalho Netto (2011) simulando cenários para a bacia hidrográfica do riacho dos Namorados, no Cariri Paraibano, usou a vegetação nativa em razão de cenários agrícolas, evidenciando para o último uma perda de solo de quase o dobro, já para a produção do escoamento superficial, o maior valor foi no cenário de vegetação nativa.

No estudo de Aragão (2014), foi avaliada a influência da mata ciliar na bacia do rio Siriri, no Agreste Nordestino, em relação ao escoamento superficial e produção de sedimentos. Pode ser observado que o modelo SWAT foi eficiente em simular o comportamento da bacia, em razão das mudanças de cenários de uso do solo, comprovando que a mata ciliar apresenta como importante cenário para redução da carga de sedimentos.

Souza, Santos e Kobiyama (2009) utilizaram o modelo SWAT como ferramenta para a concessão de outorgas de direito do uso da água na bacia hidrográfica do Altíssimo Rio Negro, localizada na divisa dos estados do Paraná e Santa Catarina. Segundo os autores, os resultados obtidos indicaram uma enorme variação entre as vazões simuladas, principalmente para as vazões mínimas e com drenagens inferiores a 100 km<sup>2</sup>, concluindo, assim, que para as bacias pequenas e não monitoradas o modelo SWAT se torna uma ferramenta imprescindível na gestão do uso da água.

Baltokoski et al. (2010), em consonância à calibração de modelo para a simulação de vazão e do fósforo, avaliou a sensibilidade do modelo SWAT em prever a vazão e o fluxo total de fósforo em duas microbacias hidrográficas contíguas, dos rios Conrado com 24,11 km<sup>2</sup> e Pinheiro 28.86 km<sup>2</sup>, afluentes do rio Pato Branco, nos municípios de Pato Branco e Mariópolis, no estado do Paraná. O modelo foi alimentado com o Modelo Digital de Elevação (MDE) da região, composto a partir da carta topográfica Mariópolis MI – 2862/4 da Divisão de Serviços Geográficos do Exército, com mapa de uso e ocupação do solo obtido a partir de imagem de satélite Landsat TM5, bandas 3, 4 e 5 (de junho de 2000, com resolução espacial de 30 m), com mapa de tipos de solo obtidos no estudo de Machado (2006). Os dados

climatológicos utilizados neste trabalho são provenientes da Estação Climatológica do Instituto Agrônomo do Paraná/IAPAR e do Sistema Meteorológico do Paraná, para o município de Pato Branco. As medidas de vazão foram obtidas por meio de duas estações fluviométricas da Agência Nacional das Águas (ANA), a jusante dos rios Conrado e Pinheiro. Os autores concluíram que a análise de sensibilidade realizada facilitou, posteriormente, o procedimento de calibração do modelo, pois esse conseguiu representar a realidade da bacia, isso quando alimentado com dados de frequência regular. Entretanto, quando a frequência de amostragem foi irregular e o número de dados consideravelmente pequenos, os procedimentos de análise de sensibilidade e autocalibração não são eficientes na calibração do SWAT.

Além disso, foram identificados alguns estudos com a finalidade de aplicação na avaliação de práticas de gestão e planejamento de bacias hidrográficas, constituindo uma importante ferramenta para a tomada de decisão no que se refere ao desenvolvimento das regiões. Alguns estudos descrevem as aplicações da SWAT no Brasil por empresas privadas ou órgãos públicos, indicando que existe potencial para o aumento do número de tais estudos no futuro.

No entanto, há evidências de que a falta de acessibilidade aos dados de entrada de qualidade são um possível obstáculo limitador para o uso mais geral do SWAT, no caso da aplicabilidade para as bacias hidrográficas brasileiras. De acordo com Pessoa et al. (1997), no Brasil as pesquisas envolvendo a utilização de modelos hidrológicos distribuídos ainda são limitados, em função do grande número de informações necessárias para descrever a variabilidade espacial e temporal dos sistemas naturais, além da inexistência de dados detalhados referentes às variáveis de entrada nos modelos.

Portanto, pode ser afirmado que, no Brasil, as análises que emergem acerca da aplicação do modelo hidrológico SWAT são promissoras. Em virtude da demonstração do excelente potencial do seu uso como ferramenta de avaliação das características hidrossedimentológicas, das análises e monitoramentos ambientais, bem como da flexibilidade do modelo (mesmo para regiões continentais). As principais limitações em território nacional seriam: a falta de dados confiáveis e precisos para inserção no modelo; e as restrições operacionais.

### 3.5.3 Aplicação do Modelo SWAT em Bacias Hidrográficas Não Instrumentadas

O SWAT é um modelo matemático de parâmetro distribuído, ou seja, quando as variáveis e os parâmetros do modelo dependem do espaço e/ou do tempo. Foi desenvolvido para a escala de bacia hidrográfica com a finalidade de prever o impacto de práticas de manejo do solo em relação à água, sedimentos e produtos agroquímicos. Tendo como aplicação bacias hidrográficas complexas não instrumentadas, por meio de diversas combinações de solos, usos e coberturas do solo e condições de manejo sobre longos períodos de tempo (NEITSCH et al., 2002).

Conforme apresentado por Arnold et al. (1998), o modelo requer informações específicas sobre o clima, as propriedades do solo, a topografia, a vegetação e as práticas de manejo do solo que ocorrem na bacia hidrográfica. Assim, os processos físicos associados ao movimento da água, sedimentos, crescimento das culturas, ciclagem de nutrientes, e outros, são diretamente modelados utilizando esses dados de entrada. Um aspecto positivo dessa característica do modelo é que foi desenvolvido para ser aplicado em bacias não monitoradas.

Siqueira et al. (2015), em sua estimativa da produção de sedimentos em pequenas bacias não instrumentadas no semiárido brasileiro, projetou diferentes cenários de uso e ocupação do solo, concluindo que a metodologia SWAT possibilitou subsidiar estratégias de conservação, de planejamento ambiental e de avaliação do efeito de escala na produção de sedimentos nas bacias analisadas. O que se constitui como uma importante ferramenta para o planejamento ambiental, afirmando que é possível, por meio da espacialização dos processos de escoamento e produção de sedimentos, identificar as áreas críticas por sub-bacia, podendo, assim, auxiliar no processo de tomada de decisão por parte dos diversos atores que integram a bacia hidrográfica.

Da mesma forma, Blainski et al. (2010), avaliaram a aplicabilidade do modelo hidrológico SWAT para a simulação da perda de solo e da disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica não monitorada do município de Lajeado dos Fragosos, Santa Catarina, por meio da distribuição da produção de sedimentos e vazão para diferentes cenários agrícolas. Os cenários projetados foram: uso atual, reflorestamento, introdução de culturas anuais em sistema de plantio convencional e introdução de culturas anuais em sistema de plantio direto. As simulações foram sistematizadas por meio da interação entre o modelo hidrológico e o Sistema de Informações Geográficas, realizada através da interface do SWAT denominada ArcSWAT. Os resultados demonstraram que tanto a vazão, quanto a perda de solo foram

alteradas pelo tipo de uso e ocupação do solo, o que pode ocasionar aumento significativo na erosão do solo em função das características edáficas e topográficas da área estudada. De acordo com os autores, permitiu afirmar que o modelo apresentou eficácia na relação entre simulação de vazão ( $\text{mm.ano}^{-1}$ ) e a perda de solo ( $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ). Por se tratar de uma bacia hidrográfica não instrumentada, os dados de perda de solo simulados não foram comparados com dados medidos, entretanto, a aplicação do modelo possibilitou a estimativa das alterações na dinâmica da bacia hidrográfica antes que estas ocorram em função das alterações antrópicas, auxiliando no gerenciamento dos recursos naturais.

Alguns trabalhos mostram que a produção de sedimentos, mesmo não sendo calibrada por falta de dados, não impede a análise do estudo sobre sua variabilidade espacial. Pois, de acordo com os desenvolvedores do modelo SWAT, este foi feito, também, para ser aplicado em bacias não instrumentalizadas (NEITSCH et al., 2011; UZEIKA et al., 2012). Validando, assim, o modelo para realizar inferências sobre as principais áreas produtoras de sedimentos, em função do uso do solo da bacia hidrográfica, comparativamente em relação aos seus usos distintos.

Srinivasan e Arnold (1994) identificaram que a simulação de cenários alternativos permite uma avaliação objetiva dos processos hidrossedimentológicos, constatando que as alterações no uso e ocupação do solo influenciam no regime de produção de água e sedimentos na bacia hidrográfica do rio Betume, região do Baixo São Francisco, conforme os mapas gerados da saída dos resultados do modelo SWAT. Desse modo, permitem uma visualização global da distribuição espacial, tornando possível identificar rapidamente áreas com grandes riscos de erosão hídrica e ambientalmente frágeis, o que pode servir para o planejamento da bacia, principalmente na definição de ações que tenham por objetivo garantir a quantidade e qualidade da água na região de estudo.

Andrade (2011), avaliando o comportamento hidrológico por meio da simulação hidrológica com o modelo SWAT na bacia hidrográfica do Rio Ribeirão, município de Jaguará em Minas Gerais, utilizou uma série histórica de setembro de 2006 a agosto de 2008, gerando uma série sintética de dados de vazão. Como conclusão obteve bons resultados, o que permitiu validar o modelo quanto a sua capacidade para usos vinculados à gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas desprovidas de monitoramento.

Podemos observar que a ausência de estações fluviométricas próximas aos locais de interesses em que se fazem necessários estudos hidrológicos, na maioria das vezes, é suprido por meio do método de Regionalização de Vazões. Porém, para que o estudo tenha um maior



grau de confiabilidade é necessário que haja dados de vazão atualizados disponíveis nessas mesmas estações. Na ausência desses dados atualizados, a modelagem hidrológica tem se mostrado uma opção para suprir essa deficiência, pois a mesma permite a simulação de dados de vazão para realização de diversos estudos hidrológicos.

Por meio dos modelos matemáticos é possível prever os impactos da ocupação antrópica sobre a quantidade e qualidade da água, o que possibilita o estudo de diferentes cenários de forma rápida e a custo reduzidos, muitos deles ainda não explorados em experimentos reais. Recentemente, a integração entre o desenvolvimento tecnológico e as técnicas de geoprocessamento como os SIG's tem permitido avanços nos estudos na gestão dos recursos naturais. Portanto, a combinação dos modelos hidrológicos acoplados aos sistemas de informações geográficas, bem como o desenvolvimento de metodologias dentro desse ambiente, constitui o elemento fundamental para o diagnóstico da situação ambiental e hidrológica nas bacias hidrográficas.

Assim sendo, podemos atribuir ao modelo hidrológico SWAT a capacidade potencial em servir de apoio para o processo de recuperação do solo e melhoria da qualidade da água, além da justificativa para a implantação de projetos públicos de conscientização ambiental.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

Conforme destaca Gil (2008), o método científico tem como objetivo fundamental chegar à veracidade dos fatos. Neste sentido não se distingue de outras formas de conhecimento. O que torna, porém, o conhecimento científico distinto dos demais é que tem como característica fundamental a sua verificabilidade. Para ele torna-se necessário identificar as operações mentais e técnicas que possibilitam a sua verificação, ou, em outras palavras, determinar o método que possibilitou chegar a esse conhecimento.

Para Minayo & Sanches (1993), o conhecimento científico é sempre uma busca de articulação entre uma teoria e a realidade empírica; o método é o fio condutor para se formular essa articulação. O método tem, pois, uma função fundamental: além do seu papel instrumental, é a “própria alma do conteúdo”, como dizia Lenin (1965), e significa o próprio “caminho do pensamento”, conforme a expressão de Habermas (1987).

Com relação à natureza da análise, este estudo caracteriza-se como explicativo. A análise explicativa apresenta uma estreita relação com aquelas pesquisas que têm como preocupação central identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Este é o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas (GIL, 2008, p. 58).

No que diz respeito ao delineamento da pesquisa, caracteriza-se como pesquisa experimental. De forma geral o estudo experimental, conforme aponta Gil (2008), consiste em determinar num objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. Assim, à influência de certas variáveis, em condições controladas e conhecidas pelo investigador, para observar os resultados que a variável produz no objeto. É considerado como o método por excelência das ciências naturais.

A abordagem proposta para a análise do problema será realizada de forma complementar quanti e qualitativamente, constituindo em um método misto, que pode ser definido como uma classe de pesquisa onde existe a combinação de dados, técnicas de investigação e/ou métodos de abordagem quantitativa e qualitativa em um único estudo. Para Minayo e Sanches (1993), o enfoque misto apresenta pontos positivos em várias situações como complementares, sempre que o planejamento da investigação esteja em conformidade.

Dessa forma, durante as fases da pesquisa, o método quantitativo será aplicado no resultado das análises qualitativas, obedecendo à metodologia da abordagem mista.

Para realizar esta “mistura de métodos” satisfatoriamente, é necessário que o pesquisador considere todas as características da pesquisa quantitativa e da pesquisa qualitativa (JOHNSON; ONWUEGBUZIE, 2004). Positivamente, uma característica-chave da investigação de métodos mistos é o seu pluralismo metodológico ou ecletismo, que frequentemente resulta em pesquisas superiores em comparação com métodos individuais de investigação (JOHNSON, 2004).

Para tanto, inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica com o objetivo de compreender os aspectos conceituais referentes ao uso e aplicações de geotecnologias voltadas às análises ambientais, principalmente acerca dos processos hidrossedimentológicos e seus condicionantes, resgatando conceitos fundamentais para a compreensão da pesquisa na bacia hidrográfica do Rio Vitorino.

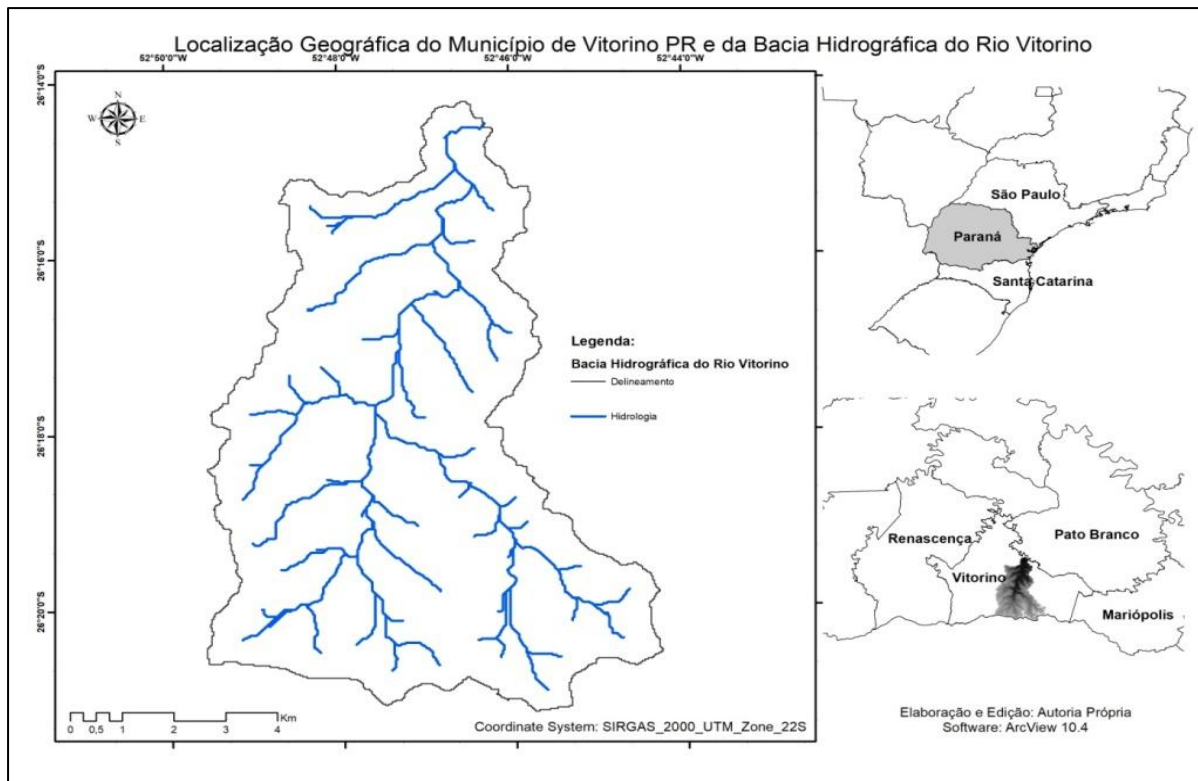
Já o método comparativo, que será utilizado para verificar a variabilidade espacial das características relacionadas aos usos do solo e seus reflexos ambientais, é realizado pela investigação de indivíduos, fenômenos ou fatos com finalidade de ressaltar as diferenças e similaridades entre eles. Há situações em que seus procedimentos são desenvolvidos mediante rigoroso controle e seus resultados proporcionam elevado grau de generalização (GIL, 2008, p. 16-17). Dessa maneira, a generalização será obtida e apresentada por meio de mapas temáticos processados através do Software ArcView 10.4.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DA PESQUISA

### 4.2.1 Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Vitorino

A pesquisa foi realizada na Bacia Hidrográfica do Rio Vitorino (BHRV). Com uma área de 6.565,38 ha, a BHRV representa 21,28% do território do Município de Vitorino, cuja linha de água principal é o Rio Vitorino, compreendida entre as coordenadas de latitude: 26°20'47.48"S, longitude: 52°47'41.18"O e latitude: 26°14'17.59"S, longitude: 52°46'28.54"O, no sentido Norte Sul (Figura 3). A Bacia do Rio Vitorino é tributária da bacia do Rio Chopim, que deságua na Bacia do Rio Iguaçu.

**Figura 3: Localização geográfica do município de Vitorino PR e da Bacia Hidrográfica do Rio Vitorino**



Fonte: Dados de processamento (2018).

### 4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As atividades de diagnóstico, planejamento e gerenciamento de ações da microbacia podem ser grandemente facilitadas e melhor qualificadas, com o emprego das ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Com o auxílio destas ferramentas, as informações que devem ser levadas em conta nas diferentes etapas de diagnóstico, no que diz respeito à hidrografia, relevo (declividade, forma da encosta e comprimento da encosta), litologia, pedologia e uso atual do solo poderão ser mais bem analisados. Tais ferramentas permitirão, ainda, a superposição e a intercessão de duas ou mais informações, o que proporcionará a geração de novas informações como a identificação de áreas que apresentem conflito no seu uso. A possibilidade de uso dos recursos que melhoram a visibilidade das informações, bem como a possibilidade de, a partir do cruzamento destas informações, promover o surgimento de particularidades não visíveis nas informações cruzadas, ampliam as oportunidades de acerto na proposição de ações de manejo e conservação da água e solo da microbacia.

O pré-diagnóstico refere-se ao levantamento preliminar das condições da microbacia, dados de monitoramento, programas e situação legal. A consolidação dessa etapa permitiu a definição das necessidades de novos levantamentos para a fase de Diagnóstico.

Uma vez identificadas as necessidades no pré-diagnóstico, o diagnóstico inclui as atividades de levantamento de campo e integração de dados para análise de quatro grandes aspectos: meio físico, passivos ambientais e características socioambientais. Todos esses dados servirão de base para obtenção de produtos, tais como mapas temáticos, resultando toda essa análise na consolidação de produtos específicos com localização e quantificação dos objetos em análise.

A identificação de cada elemento que ocorre em uma microbacia se constitui em uma informação importante para determinar a capacidade de uso e planejamento, bem como os riscos potenciais de degradação desse dado elemento, sob diferentes sistemas de manejo. Todavia, para alcançar tais objetivos é necessário que os elementos sejam identificados de forma detalhada.

Assim, uma das premissas para conhecer a realidade é o diagnóstico dos elementos físicos da bacia e sua dinâmica interna, abordada como um ecossistema integrado.

#### 4.3.1 Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Vitorino

Para melhor compreender a dinâmica dos recursos naturais, a análise morfométrica de uma bacia hidrográfica assume relevante papel nos processos de análises ambientais. Conforme apontam Tonello et al. (2006), os aspectos físicos e bióticos são determinantes nos processos do ciclo hidrológico influenciando a infiltração, a quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração e o escoamento superficial e subsuperficial. Atualmente as análises morfométricas de bacias se tornaram um processo dinâmico, facilitado pelos SIGs, que auxiliam nos estudos de caracterização do relevo e do ambiente físico, especialmente por meio da utilização de produtos como o *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), o qual se caracterizou como um projeto que atuou na produção de um banco de dados digitais para todo o planeta, necessários na elaboração de um Modelo Digital de Elevação (MDE) das terras continentais.

Para tratamento e análise dos dados morfométricos da Bacia Hidrográfica, foi realizado o delineamento das bacias que compõem a área abrangida pelo mapa do Modelo Numérico do Terreno (MNT) com resolução espacial de 20 m, utilizando o software ArcView 10.4, através da extensão ARCHYDRO. O primeiro passo foi retirar as possíveis depressões (*Fill Sinks*) dos dados SRTM. Essas depressões são consideradas impedimentos ao escoamento, quando da aplicação de modelos chuva-vazão, modelos sedimentológicos e de

poluentes de origem difusa, sendo preenchidas levando-se em consideração as altitudes dos pixels vizinhos (MENDES; CIRILO, 2001). Em seguida, foram feitos os processos que possibilitaram a delimitação da bacia como: direção de fluxo de água, fluxo acumulado, sendo este obtido pela soma da área das células (quantidade de células) na direção do fluxo (ou escoamento) (MENDES; CIRILO, 2001).

A caracterização morfométrica com o uso do Software ArcView 10.4, permitiu em ambiente SIG, e por meio de fórmulas pré-estabelecidas, a avaliação dos seguintes parâmetros:

$$(1) \text{ Comprimento dos canais superficiais: } C = L1 + L2 + \dots \text{ ou } C = \sum Li$$

Em que: C = comprimento da vazão superficial, em km;  $\sum Li$  = somatório das distâncias (comprimentos) dos canais da microbacia, desde a desembocadura até determinada nascente. O curso d'água mais longo e de ordem mais elevada, corresponde ao rio principal.

$$(2) \text{ Densidade de drenagem: } Dd = Lt/Ab$$

Em que Dd é a densidade de drenagem; Lt o comprimento total dos canais e Ab a área da bacia hidrográfica. Foi utilizado como parâmetro para caracterizar a drenagem, a classificação proposta por Beltrame (1994).

$$(3) \text{ Extensão do percurso superficial: } Eps = Dd/2$$

Em que: Eps é a extensão do percurso superficial e Dd a densidade de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1980).

$$(4) \text{ Densidade hidrográfica: } Dh = N/A$$

Em que: Dh é a densidade hidrográfica dos canais; N o número total de cursos d'água e A a área da bacia hidrográfica.

$$(5) \text{ Índice de Forma: } K = P/2\sqrt{\pi \cdot A}$$

Em que: K é o índice de forma adimensional, P o perímetro da bacia (km); A é a área da microbacia em (km<sup>2</sup>). Foi proposto por Gandolfi (1971).

$$(6) \text{ Amplitude altimétrica: } Hm = Hmax - Hmin$$

Em que: Hm é a amplitude altimétrica; Hmax é a altitude máxima e Hmin é a altitude mínima.

$$(7) \text{ Declividade: } S = \Delta H/L$$

Em que: S é a declividade (m/m); H é a diferença de cota (m) entre os pontos que definem o início e o fim do canal e L é o comprimento do canal entre estes pontos.

Quanto à hierarquia fluvial, foi estabelecida de acordo com o método proposto por Strahler (1952), o qual estabelece que os menores canais, sem tributários, são considerados de

primeira ordem, os de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem, e assim sucessivamente.

#### 4.3.2 Classificação de Solos

Para análise dos tipos de solos utilizou-se o Sistema de Classificação de Solos proposto pela EMBRAPA (2008) e, para fins de apresentação em áreas homogêneas optou-se pelo uso da classe de solos predominante em cada área. A classificação de segundo, terceiro e quarto nível das classes de solos foi feita a partir da indicação do mapa de levantamento proposto pela Embrapa, ou seja, por aproximação com padrões regionais, tendo em vista que não foram realizadas as análises pormenorizadas das diferentes camadas de solos.

Dessa maneira, procedeu-se a importação e tratamento de dados vetoriais e matriciais para o Software ArcGis 10.4, operacionalizando o recorte para a bacia hidrográfica do Rio Vitorino e apresentação do mapa temático dos tipos de solos da área de estudo.

#### 4.3.3 Declividade e Altimetria

Para a elaboração do mapa de declividades foi utilizada imagem de radar da SRTM Topodata, do Banco de Dados Geomorfológicos da EMBRAPA com resolução espacial de 30 m no formato GEOTIFF (16 bits) e Sistema de Coordenadas Geográficas Datum, WGS-84. O recorte da bacia e a extração das curvas de nível foram etapas realizadas para gerar o mapa modelo digital de elevação (MDE), pelo qual foram obtidos os intervalos da declividade do relevo através do Software ArcView 10.4 e expressos em intervalo de percentual (%) e em graus (°).

#### 4.3.4 Uso e Ocupação do Solo

A elaboração do mapa de uso e ocupação do solo foi processada no Software ArcView 10.4 a partir da Imagem do Satélite Landsat-8, de 07/04/2016 (LANDSAT\_SCENE\_ID = "LO82220782016098CUB00" FILE\_DATE = 2016-04-07 T22:29:21Z, SENSOR\_ID = "OLI", ) orbita/ponto 223/78 através do Download da Divisão de Geração de Imagens (DGI) do INPE em formato GeoTIFF. Foi utilizada a fusão das Bandas 4, 3, 2 para formação da imagem RGB (cor natural) e, a partir desta, realizada a fusão com a

Banda Pancromática 8 para a obtenção da resolução espacial de 15 metros. A classificação foi feita a partir da informação espectral de cada pixel e sua relação com pixels vizinhos, a partir da imagem recortada para a área de estudo, pelo método classificação supervisionada do Software ArcView 10.4 com a coleta de 30 amostras para classe.

A escolha da imagem foi fundamentada na data que coincide com o período de pós-colheita da safra normal de 2015-2016, em que se admite um maior percentual de áreas desprovidas de cobertura vegetal em razão da colheita de grãos e plantio das culturas de inverno, se constituindo em um período mais frágil no que tange os impactos do escoamento superficial e perdas de solos.

A classificação supervisionada é o método mais usado para análise quantitativa e, nela, o usuário seleciona áreas de treinamento pertencentes às classes desejadas. Assim, o operador treina o analisador de imagens, deixando a ele a tarefa de localizar todos os demais pixels pertencentes às classes anteriormente definidas, baseado em algumas regras estatísticas pré-estabelecidas (VALÉRIO FILHO, 1994).

Na etapa de classificação, quando os atributos do padrão a ser classificado são mostrados ao classificador, este é associado à mesma classe apresentada na fase de treinamento. A classificação dos pontos só ocorre se os atributos daquela classe estiverem entre os limites encontrados na fase anterior, para um dos atributos (CRÓSTA, 1993, p. 58).

#### 4.3.5 Estimativa da Erosividade

Existem diversos métodos de investigação da suscetibilidade do meio físico ao processo erosivo. Uma das que contribui para o estudo de susceptibilidade erosiva é a análise de multicritério, pois permite a investigação combinada de variáveis para gerar um mapa síntese como produto final. O método de álgebra de mapas também contribui para esse tipo de análise, uma vez que consiste na aplicação de operações aritméticas para associar várias camadas, de modo a obter, como resultado, classificações que permitem análises diversas. A análise de multicritério com o método de álgebra de mapa permite agrupar e classificar áreas que apresentem potencial de susceptibilidade erosiva semelhante, a exemplo da proposta nessa pesquisa.

A avaliação da susceptibilidade à erosão do solo na bacia hidrográfica do Rio Vitorino foi realizada por meio da análise multicritério por meio da metodologia da álgebra de mapas no Software ArcView 10.4. Para tal, foram considerados pesos de 25% para o



tema (critério) pedologia, de 40% para uso e cobertura das terras e de 35% para o fator do relevo LS proposta por Silva (2014). As notas de suscetibilidade à erosão foram atribuídas às unidades de mapeamento em escala de 0 a 10. Dessa forma, os mapas de declividade, tipo de solo e uso e ocupação equacionados com valores de 0.350, 0.250 e 0.400. A equação utilizada foi da seguinte maneira:  $((\text{TIPO DE SOLO} \times 0.25) + (\text{USO DO SOLO} \times 0.400) + (\text{DECLIVIDADE} \times 0.350))$  com o intuito de espacializar os níveis de vulnerabilidade natural à erosão dos solos, uma vez que não foram considerados parâmetros pluviométricos.

Considerando a análise de multicritério, foram definidos pesos (0 – 100%) para cada variável de modo a diferenciar o grau de importância e correlação com o fenômeno em questão (susceptibilidade erosiva), e notas (1 a 10) para cada componente de legenda, de maneira que, quanto maior a nota, maior a susceptibilidade erosiva. Com a reclassificação do raster de cada camada, foram aplicados os valores dos pesos, gerando um raster com a ferramenta *raster calculator* do software ArcGis 10.4. Os mapas finais foram elaborados a partir do cruzamento dos parâmetros estabelecidos para as variáveis. Para que seja possível somar mapas é preciso que eles estejam em formato matricial (ou raster). Portanto, todos os mapas foram convertidos para esse formato, baseados no atributo de ponderação criado. Os mapas obtidos tornaram-se aptos, então, a serem somados utilizando a ferramenta *Raster Calculator* sem fornecer peso para os mapas nessa soma. O diagrama de operações para essa análise pode ser visualizado na figura 4.

Nesse procedimento o Software utiliza o algoritmo classificador, aplicável a uma estrutura de matrizes, no qual cada célula correspondeu a uma unidade territorial. A importância de cada evento analisado é considerada em função do somatório dos produtos dos pesos relativos das variáveis escolhidas, multiplicado pelas notas das classes em cada unidade da célula.

Os valores das notas (pesos) para as classes de solo, uso e ocupação do solo e de declividade foram atribuídos segundo adaptação dos valores apresentados por Bonna (2011) e são apresentados nas tabelas 2, 3 e 4.

**Tabela 2: Classificação da hipsometria da bacia do Rio Vitorino e suas atribuições de peso para mapa de erosividade**

<b>Altimetria (Classe)</b>	<b>Peso</b>
600-650	1
650 -700	2
700 - 750	3
750 - 800	4
800 – 850	6
850 – 900	8
Maior que 900	10

Fonte: Adaptado de Bonna, 2011.

**Tabela 3: Classificação do uso do solo da bacia do Rio Vitorino e suas atribuições de peso para mapa de erosividade**

<b>Nome</b>	<b>Peso</b>
Lavoura/Cultivo	07
Solo Exposto	10
Pastagem Anual	04
Vegetação Nativa	02

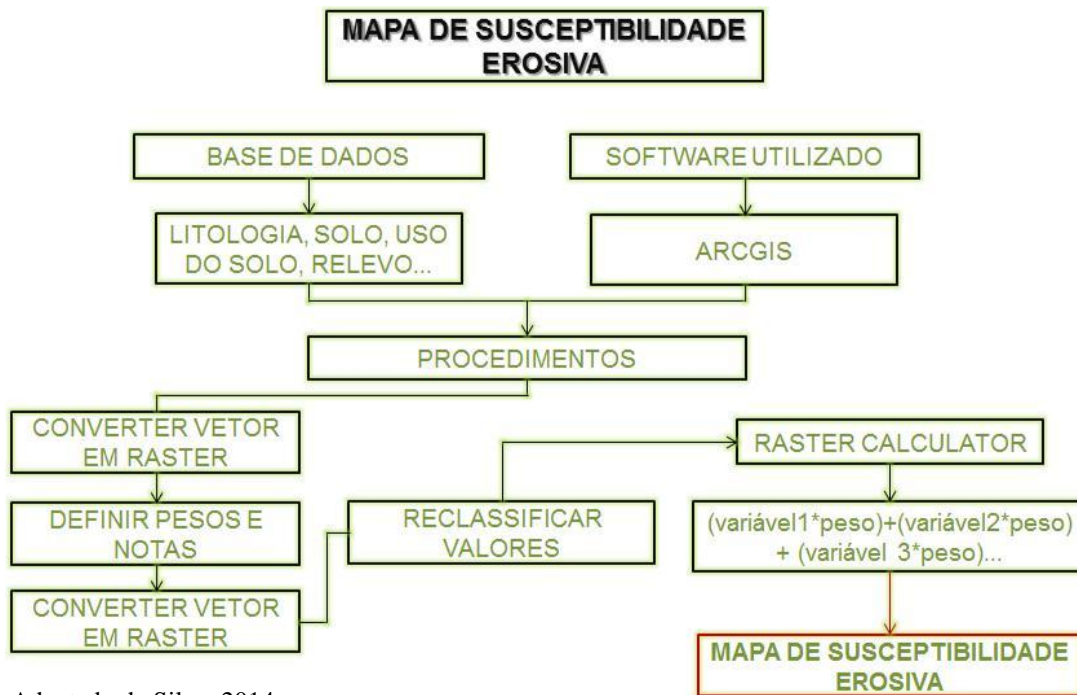
Fonte: Adaptado de Bonna, 2011.

**Tabela 4: Classificação dos tipos do solo da bacia do Rio Vitorino e suas atribuições de peso para mapa de erosividade**

<b>Nome</b>	<b>Peso</b>
LVdf7 - LATOSSOLOS VERMELHOS Distroférricos	5
RRe9 - NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Eutróficos	8
NVdf4 - NITOSSOLO VERMELHO Distroférrico	7
LBd1 - LATOSSOLOS BRUNOS Distróficos	6
Área Urbana	10

Fonte: Adaptado de Bonna, 2011.

**Figura 4: Diagrama de processamento para elaboração do mapa de susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do rio Vitorino**



Adaptado de Silva, 2014.

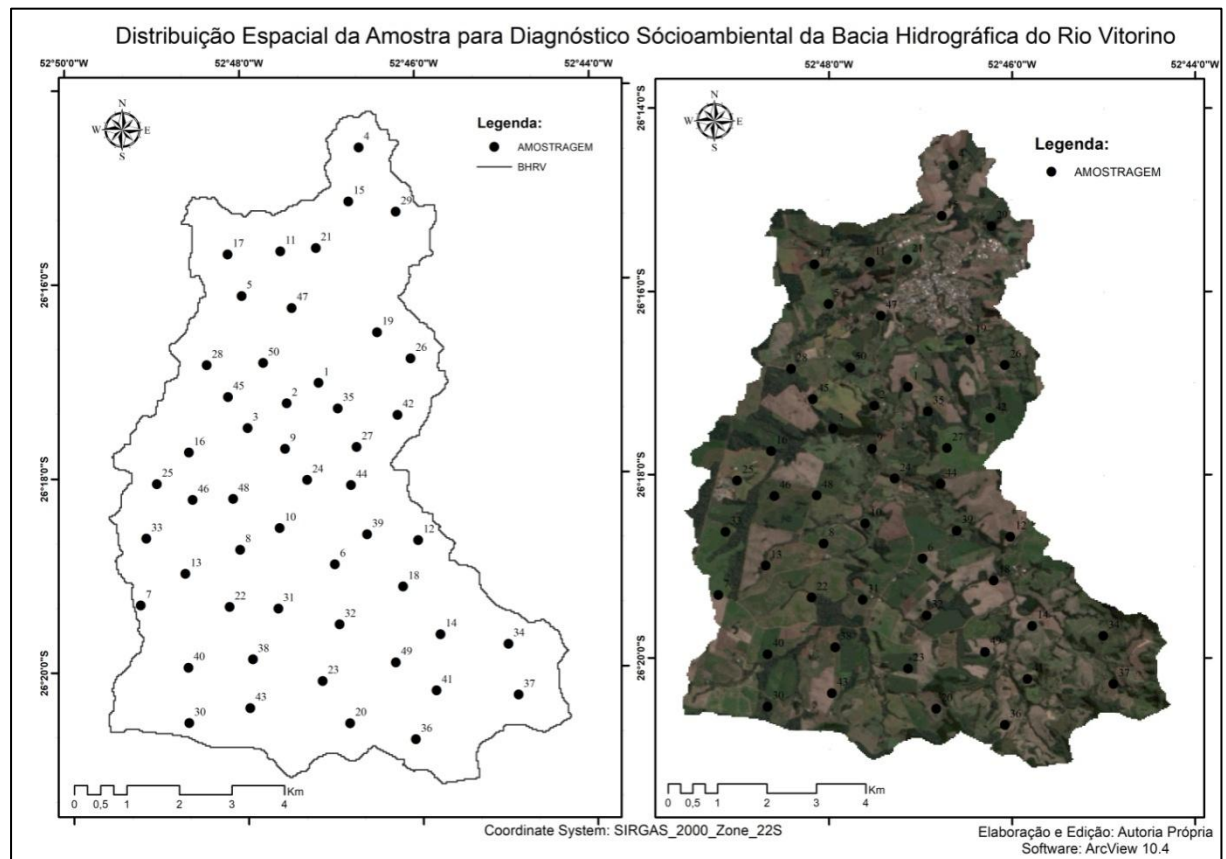
#### 4.3.6 Diagnóstico Socioambiental

Com relação ao diagnóstico socioambiental, será abordado por meio de entrevistas com aplicação de questionários semiestruturados<sup>3</sup>, detalhados no apêndice 1. Esse método é consideravelmente importante na elaboração do trabalho, uma vez que se constitui em um processo de interação que gera uma estreita relação entrevistador-entrevistado (RICHARDSON, 2008, p. 147). Assim, as entrevistas semiestruturadas são adequadas quando se busca identificar além da frequência de um fato, ainda como e qual a causa de sua ocorrência. Portanto, o roteiro semiestruturado garante a abordagem de aspectos considerados essenciais, mas garante a liberdade para colocações adicionais sobre o assunto, tanto para o entrevistador, quanto para o entrevistado.

<sup>3</sup> Ficha de Campo para diagnóstico socioambiental adaptada do GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ: PROGRAMA DE GESTÃO DE SOLO E ÁGUA EM MICROBACIAS abordando os eixos: Diagnóstico geral da propriedade; diagnóstico de uso da terra; diagnóstico das águas e recursos hídricos; diagnóstico da percepção ambiental.

Para a definição da amostra do público entrevistado, foi utilizada a ferramenta *Hawths Tools* do ArcGis 10.4. Esse módulo permite realizar operações básicas de análise estatística e espacial que são comumente requeridas na pesquisa de espacialização de dados. Dessa maneira, elaborou-se um arquivo no formato Kml do aplicativo *Google Earth* contendo a localização de todas as propriedades da bacia hidrográfica, excetuando-se a área urbana, haja vista que não é Aldo da presente pesquisa, e após sua conversão e importação para o ArcGis 10.4 pela extensão *Hawths Tools* por meio do comando *Generate Random Points* (geração de pontos aleatórios), informando uma distância mínima entre pontos de 500 m, garantindo, assim, a espacialização homogênea da amostra que resultou em um total de 50 propriedades, conforme figura 5.

**Figura 5: Distribuição espacial da amostra para diagnóstico socioambiental**



Fonte: Autoria própria, 2018.

Dessa forma, foi possível caracterizar estes indivíduos e seu modelo de produção, que apresentam satisfatoriamente a ocupação da BHRV e, assim, elucidar minuciosamente essa relação, por meio do questionário socioambiental semiestruturado em anexo.

#### 4.3.6.1 Coleta e Análise de Dados

A metodologia adotada para o levantamento dos dados sobre o diagnóstico físico e da percepção ambiental dos agricultores foi realizada por intermédio de pesquisa participativa, conforme Brose (2001). Dessa forma, as perguntas norteadoras para alcançarmos o objetivo do presente trabalho foram fundamentadas na questão central em relação ao manejo e à conservação do solo. Para isso, foram elaboradas questões abertas sobre a análise da percepção, tais como: (a) O que você entende por conservação do solo? Você tem terraço, murundum, ou tinha na propriedade? Ou quais outras que você faz para conservar o solo? Se tinha e retirou, por que você fez isso? Acredita que o solo é importante? E conservá-lo? (b) Sua propriedade tem vala, valeta na lavoura, erosão, e se alguma época do ano a chuva lava a sua lavoura? Fez alguma coisa para melhorar?

As questões foram formuladas de forma a evidenciar um conjunto mínimo de indicadores capazes de avaliar a conservação do solo. Nesse sentido, envolveram a relação dos agricultores com o solo e seus conhecimentos a respeito de conceitos relacionados ao manejo e conservação, bem como sua importância, de acordo com a percepção dos agricultores entrevistados, a fim de possibilitar o entendimento de como esses agricultores compreendem, realizam e avaliam suas práticas de conservação do solo.

As entrevistas foram realizadas nos meses de dezembro de 2017, janeiro e fevereiro de 2018, totalizando 50 entrevistas com agricultores da bacia hidrográfica. Os questionários aplicados durante as entrevistas foram tabulados (Q1...Q50) para facilitar a compreensão e análise das informações. Os resultados obtidos nas entrevistas foram compilados, analisados e discutidos, tendo como base a metodologia qualitativa para o diagnóstico da percepção e quantitativa para o diagnóstico físico e socioeconômico.

Partimos do pressuposto que a metodologia qualitativa permitiria uma maior compreensão no que se refere à subjetividade das relações sociais e da formação da percepção dos agricultores em relação ao solo. Pois, os pesquisadores nas metodologias qualitativas podem estudar realidade no seu contexto real, interpretando e compreendendo os fenômenos que constroem a sociedade.

A partir da base de dados, foi realizada a análise estatística. Aferiu-se a frequência de cada indicador abordado no questionário. Através do cálculo de frequência indicando a porcentagem de incidência de cada indicador, buscou-se identificar quais as inter-relações dos

aspectos socioeconômicos e de percepção com as questões ambientais da BHRV. Ainda nesta fase, demonstraram-se graficamente os resultados dos cálculos estatísticos dos dados.

#### 4.3.7 Modelagem Hidrológica e Estimativa de Sedimentação

Neste tópico será apresentado o modelo hidrológico que foi aportado para realização da pesquisa, os dados de entrada sistematizados e o processamento realizado.

##### 4.3.7.1 O Modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*)

A etapa de modelagem hidrológica foi aportada pelo modelo SWAT que por ser um modelo físico, requer que no seu banco de dados seja inserida uma grande quantidade de informações definidas na área a respeito das características físicas da bacia hidrográfica para, dessa forma, processar as equações físicas que simularão o fluxo da água no ciclo hidrológico.

A sistematização dos dados para apresentação das informações serão realizadas por meio da interação entre o modelo hidrológico e o SIG, realizada pela interface do SWAT denominada ArcSWAT v. 2012.10.4.19, desenvolvido pelo *Blackland Research Center Texas Agricultural Experiment Station* e *USDA Agricultural Research Service* e do software ArcMap® (desenvolvidos pela *Environmental Systems Research Institute - ESRI, Redlands, California, EUA*). Essa interface possibilita a alteração do Plano de Informação (PI) de uso e ocupação do solo, permitindo a comparação das variáveis estudadas para cada cenário proposto.

##### 4.3.7.2 Dados de Entrada no Modelo SWAT

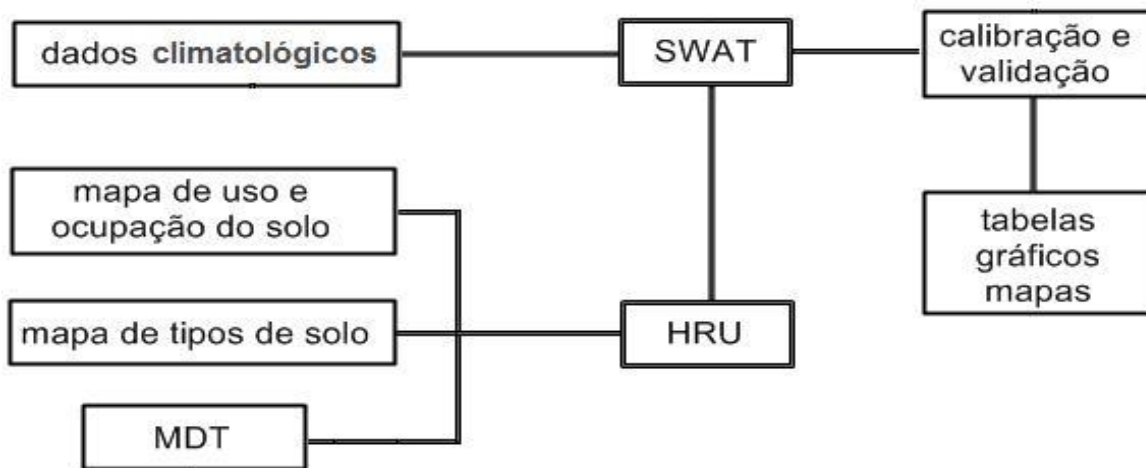
A entrada de dados no SWAT (planos de informação cartográficos – PIs e dados alfanuméricos) é realizada via uma interface apropriada. Os PIs necessários são: o Modelo Numérico do Terreno (MNT); solos; e uso da terra. A interface automaticamente subdivide a bacia em sub-bacias a partir do MNT e, então, extrai os dados de entrada a partir dos PIs e do banco de dados relacionais para cada sub-bacia.

Esse modelo requer como dados de entrada, informações sobre precipitação, temperatura, umidade, tipos de solos, relevo e uso e ocupação do solo (SILVA et al., 2013).

As alterações dos coeficientes para cada cenário serão feitas com base em dados de literatura e informações constantes na base de dados do modelo hidrológico. Por se tratar de uma bacia hidrográfica não instrumentada, os dados de perda de solo simulados não foram comparados com dados medidos, entretanto, a aplicação do modelo permitirá a estimativa das alterações na dinâmica da bacia hidrográfica antes que estas ocorram em função das alterações antrópicas, auxiliando no gerenciamento dos recursos naturais.

O SWAT segue diversos passos (Figura 6) até que sejam gerados os resultados: inicialmente são definidas as sub-bacias com base no MDT da área; o segundo passo é fornecer os mapas de uso e ocupação do solo, tipos de solo e declividade para que o modelo gere as Unidades de Resposta Hidrológica (HRU); logo após, deve-se disponibilizar a série de dados climáticos ao SWAT para que, assim, seja realizada a simulação; e por fim, com os resultados da simulação, é feita a calibração e validação do modelo para obterem-se resultados mais precisos. Os resultados da modelagem do SWAT são disponibilizados nas formas de tabelas, gráficos e mapas.

**Figura 6: Diagrama sintético das etapas que constituem o modelo SWAT**



Fonte: Silva (2015).

Os mapas de uso e ocupação do solo, dos tipos de solos e o modelo digital de elevação do terreno foram construídos conforme descrito nos itens 3.3.2, 3.3.3 e 3.3.4 e devidamente ajustados aos parâmetros de entrada do modelo hidrológico.

Os dados climatológicos diários de temperatura, umidade relativa, precipitação, radiação solar e velocidade do vento foram utilizados da estação meteorológica do IAPAR, localizada no município de Pato Branco, (Código: 02652035 / LAT: 26.07 S / LONG: 52.41

W / ALT: 700 m) por meio dos dados do BOM – Boletim Mensal, com dados diários dos principais elementos coletados em uma Estação Meteorológica para a série histórica compreendida entre 01/01/2015 e 31/12/2015. A definição da série histórica foi baseada em um período que antecedeu a análise do uso e ocupação do solo, admitindo, assim, uma estreita correlação das influências climáticas sob o ambiente analisado. Os dados obtidos da estação meteorológica foram adequados para o formato de entrada no ArcSwat, sendo convertidas em arquivos de texto (\*.txt) do bloco de notas. A edição dos arquivos de texto (\*.txt) obedeceram à metodologia de formatação proposta por Marchioro (2008) e Winchell et al. (2013) para a correta inserção no software.

#### 4.3.7.3 Determinação dos parâmetros do modelo SWAT

O modelo SWAT possui um banco de dados contendo diversos parâmetros para cada tipo de uso e ocupação do solo. Neste estudo, foram realizadas associações/adaptações entre os tipos de uso do solo do banco de dados do SWAT e os usos existentes na bacia. Para essa pesquisa utilizou-se apenas o primeiro nível categórico da classificação do solo realizada pela Embrapa (2008), desse modo, tornando possível a utilização dos parâmetros propostos por Baldissera (2005) e Lino (2009), conforme apresentados nas Tabelas 5 e 6, de modo que cada sigla representa:

**Tabela 5: Representação dos parâmetros do modelo Swat**

<b>Componentes (SWAT)</b>	<b>Representação</b>
NLAYERS	Número de horizontes
HYDGRP	Grupo hidrológico
SOL_ZMX	Profundidade total (mm)
ANION_EXCL	Fração de porosidade (decimal)
SOL_ZI	Profundidade da camada (cm)
SOL_BD1	Densidade (gcm <sup>3</sup> )
SOL_AWC1	Capacidade de água disponível (mmágua.mmsolo)
SOL_K1	Condutividade hidráulica saturada (mm/h)
SOL_CBN1	Conteúdo de carbono orgânico (% do peso do solo)
CLAY1	Argila (%)
SILT1	Silte (%)
SAND1	Areia (%)
ROCK1	Cascalho (%)
SOL_ALB1	Albedo do solo úmido (decimal)
USLE_K1	Fator erodibilidade do solo (t.h/MJ.mm)
SOL_EC1	Condutividade elétrica (dS/m)

Fonte: Adaptado de ArcSwat, 2014.



A definição do grupo hidrológico que, a partir das características de infiltração, indica qual o potencial de geração de escoamento superficial e são divididos de acordo com suas características de infiltração, em quatro grandes categorias (A, B, C e D).

**Tabela 6: Parâmetros de entrada para a base de dados do modelo SWAT**

<b>Parâmetro</b>	<b>Latossolo</b>	<b>Neossolo</b>	<b>Nitossolo</b>
NLAYERS	3	2	2
HYDGRP	C	C	C
SOL_ZMX	1.500	800	180
ANION_EXCL	0,38	0,4	0,4
SOL_Z1	360	50	30
SOL_BD1	1,5	1,6	1,3
SOL_AWC1	0,3	0,15	0,2311
SOL_K1	12,5	12,5	1,3
SOL_CBN1	1,1	0,4	0,4
CLAY1	30,3	17,2	65
SILT1	16	29,4	32
SAND1	53,7	53,4	3
ROCK1	0	0	0
SOL_ALB1	0,15	0,15	0,15
USLE_K1	0,03	0,07	0,022
SOL_EC1	0	0	0
SOL_Z2	760	300	180
SOL_BD2	1,7	1,6	1,3
SOL_AWC2	0,3	0,15	0,1393
SOL_K2	12,5	12,5	1,3
SOL_CBN2	0,2	0,6	0,4
CLAY2	29,8	24,7	76
SILT2	14,3	25,6	31
SAND2	55,9	49,7	3
ROCK2	0	0	0
SOL_ALB2	0,15	0,15	0,10
USLE_K2	0,04	0,06	0,022
SOL_EC2	0	0	0
SOL_Z3	1.210	-	-
SOL_BD3	1,7	-	-
SOL_AWC3	0,4	-	-
SOL_K3	12,5	-	-
SOL_CBN3	0,5	-	-
CLAY3	29,5	-	-
SILT3	13,8	-	-
SAND3	56,7	-	-
ROCK3	0	-	-
SOL_ALB3	0,15	-	-
USLE_K3	0,04	-	-
SOL_EC3	0	-	-

Fonte: Adaptado de Baldissera (2005) e Lino (2009).

Assim, foi caracterizado como grupo “C” conforme proposto por Baldissera (2005) e Lino (2009) cujas características definidas pela NRCS como solos de baixa taxa de infiltração quando completamente úmido e baixa taxa de transmissividade da água. O solo apresenta argila variando entre 20 e 40% e areia menos que 50% com alto potencial de escoamento superficial. Quanto à textura, todos os solos foram classificadas como do tipo silte argiloso (SILT LOAM), conforme Leyton (2012, p. 144) é definido pelo código SIL-SICL-SC-WB.

#### 4.3.8 Projeção de Diferentes Cenários

Dada a capacidade da inserção direta de dados de clima, da cultura e manejo, há a possibilidade de uso do modelo em simulação de cenários de uso da terra que tragam menores impactos na hidrologia e na qualidade da água da bacia.

O objetivo da simulação de cenários nesse estudo não é caracterizar, de maneira completa, a eficiência das alternativas de manejo do uso da terra, mas sim exemplificar a aplicação e as vantagens da utilização da integração de modelos e SIG. Essa integração basicamente permite que se varie somente o PI de uso e ocupação da terra. Outras simulações podem ser feitas não somente considerando a redução da produção de sedimentos, mas também, as fazendo em conjunto com outras análises, como a econômica e social, o que não foi o nosso objetivo.

Devido às inúmeras possibilidades de simulação de cenários e para não se tornar um trabalho repetitivo, somente duas simulações foram realizadas para avaliar a perda de solos na microbacia, sendo:

- Cenário 1<sup>4</sup> - Uso atual: caracterizado pela presença de lavouras anuais em áreas com declividade elevada, solo descoberto em algumas épocas do ano, pastagens anuais e algumas áreas ocupadas por vegetação nativa composta por espécies florestais típicas da região (mata atlântica);
- Cenário 2<sup>5</sup> - Reflorestamento com vegetação nativa em substituição às pastagens perenes e áreas com solo exposto.

---

<sup>4</sup> A avaliação do cenário 01 (uso atual) foi fundamentada na observação do ambiente em seu “estado de campo”, ou seja, na realidade sistêmica da ocupação do solo na BHRV.

<sup>5</sup> A avaliação do cenário 02 (substituição da cobertura vegetal em áreas de solo exposto) foi fundamentada na projeção de uma elevada variação, a fim de permitir verificar em casos de discrepâncias extremas a influência da cobertura vegetal sob as perdas de solo e a sensibilidade do modelo em quantificá-las.

#### 4.3.9 Processamento da Simulação com o Modelo Hidrológico – SWAT

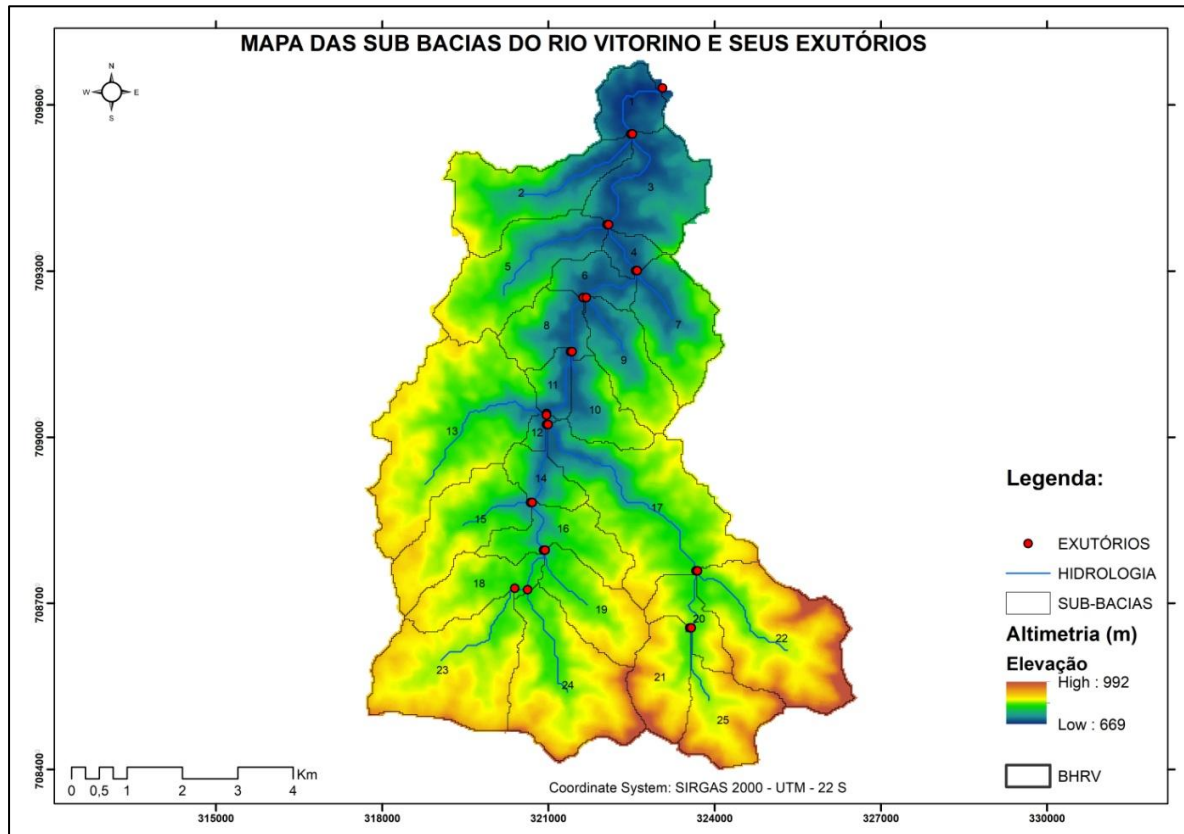
O SWAT requer dados de entrada em formatos compatíveis com seu banco de dados. Dessa maneira, foi realizado o ajuste de todos os dados necessários em seus formatos adequados, iniciou-se o processo de entrada de dados e simulação, adotando a seguinte sequência:

- Criação do Projeto SWAT;
- Delineamento (discretização da Bacia Hidrográfica);
- Percepção e sensibilidade da criação da rede de drenagem e exutórios de interesse;
- Definição das Unidades de Resposta Hidrológica (HRUs);
- Reclassificação de valores manualmente;
- Inserção de dados climáticos;
- Processamento (simulação do modelo);
- Alteração dos Planos de Informação para distinção dos cenários propostos;
- Visualização de resultados.

O processamento e geração das sub-bacias ocorreu a partir do modelo digital de elevação. O mapa foi anexado á base de dados, sendo então definido automaticamente com base na elevação do terreno, o divisor de águas da bacia, a direção do fluxo acumulado e os exutórios das sub-bacias que compõem a bacia hidrográfica do Rio Vitorino. Para se obter uma linearidade, a edição foi realizada manualmente, inserindo ou excluindo os exutórios na interface, resultado na delimitação de 25 sub-bacias conforme Figura 7.

Após a geração das sub-bacias, procedeu-se a definição das unidades de resposta hidrológica (*Hydrologic Response Units - HRUs*). As HRUs são partes da sub-bacia que possuem uma única combinação de uso da terra/solo/manejo. Uma ou mais combinações de uso da terra/solo podem ser criadas para cada sub-bacia. Assim, subdividir a bacia em áreas contendo combinações únicas, possibilita ao modelo refletir diferenças nas taxas de infiltração e escoamento superficial, além de outras condições hidrológicas para diferentes usos e solos. Da mesma forma, o escoamento é calculado para cada HRU e propagado para obter o escoamento total para a sub-bacia. Isso pode aumentar a precisão das predições e fornecer uma melhor descrição física do balanço de água na bacia (ARNOLD et al., 1998).

**Figura 7: Sub-bacias do Rio Vitorino e seus respectivos exutórios**



Fonte: Autoria própria, 2018.

Para cada classe de uso e ocupação do solo da BHRV foi realizada sua projeção para a classe do banco de dados do SWAT equivalente. Para a tipologia de solo exposto foi associada a classe RANGE-BRUSH, caracterizada por apresentar vegetação esparsa com predomínio de arbustos, assemelhando-se à caatinga. Para a tipologia da vegetação nativa, foi atribuída a associação com a classe FRST (*Forest-Mixed*), caracterizada pelos parâmetros da floresta mista. O uso de solo do tipo Lavoura/Cultivo foi associado à classe AGRL (*Agricultural Land-Generic*), representando a agricultura em geral, com cobertura vegetal. Para a classificação da Urbanização foi projetada a associação com a classe URLD (*Residential-Low Density*), sinônimo de urbanização de baixa densidade e por fim para a tipologia de solo pastagem foi associada à respectiva unidade PAST (*Pasture Perennial*) do SWAT.

Posteriormente, foram reclassificados os tipos de solos específicos na BHRV projetados sob suas características comuns no banco de dados do SWAT. Dessa maneira, cada tipo classificado conforme item 3.3.2 foi a sua respectiva entidade do SWAT.

Após os ajustes das URHs, procedeu-se a entrada dos dados climáticos diários de precipitação, temperatura máxima e mínima, radiação solar, umidade relativa e velocidade do

vento no SWAT. Considerando que os dados requeridos são de ordem diária e foram previamente editados em arquivos \*.txt., utilizou-se da extensão "*Weather Station*" para a importação dos mesmos. O período de abrangência dos dados climáticos utilizados foi de 01/01/2015 a 31/12/2015, totalizando um ano.

A última etapa do processamento se constituiu na simulação do modelo hidrológico, sendo esta realizada por meio da ferramenta "*Run SWAT*". A simulação hidrológica na bacia é separada em duas divisões. A primeira divisão é a fase terrestre do ciclo hidrológico, essa fase controla a quantidade de água, sedimentos, nutrientes e pesticidas para o canal principal em cada sub-bacia. Nos itens subsequentes são descritos apenas os componentes de interesse deste trabalho. Assim, foi suprimido o módulo de produção de nutrientes e pesticidas. A segunda divisão é a fase de propagação (*routing*) da água no ciclo hidrológico, a qual pode ser definida como o movimento de água, sedimentos, etc., por meio da rede de canais da bacia hidrográfica para a sua saída.

Como o objetivo deste estudo foi simular a perda de solo da Bacia Hidrográfica do Rio Vitorino, abordou-se apenas os componentes hidrologia e sedimentos da fase da terra, excetuando-se da análise e descrição dos demais.

#### 4.3.10 Calibração do Modelo

Frequentemente, modelos são aplicados em áreas onde não existem dados de escoamento ou sedimentos disponíveis, o que torna a calibração impossível. Nesses casos, é importante que o modelo possa ser aplicado em situações em que nem todos os dados de entrada estejam disponíveis e que resultados razoáveis possam ser obtidos sem calibração, o que é um dos objetivos do modelo SWAT, isto é, ser aplicado em bacias hidrográficas não monitoradas. Deve estar claramente entendido, entretanto, que erros na simulação são maiores sem calibração (GRUNWALD; FREDE, 1999).

Para a calibração do modelo SWAT faz-se necessário que estejam disponíveis um banco de dados climáticos aferidos a nível de campo por um período de, no mínimo, 5 a 10 anos (MARCHIORO, 2008).

O SWAT foi desenvolvido para, além de outros, processar informações em unidades não instrumentadas. Dessa maneira, uma vez que a bacia hidrográfica do Rio Vitorino é desprovida de instrumentação, não havendo dados de monitoramento a nível experimental disponíveis, o procedimento de calibração foi dispensado.

#### 4.3.11 Determinação do Escoamento Superficial e Produção de Sedimentos

O SWAT considera a bacia dividida em sub-bacias com base no relevo, e as subdivide em HRUs com base nos tipos de solos e uso do solo, preservando, assim, os parâmetros espacialmente distribuídos na bacia inteira e características homogêneas dentro da bacia. Com base nos dados dos parâmetros do meio físico, esse modelo pode ser aplicado em bacias hidrográficas de médio e grande porte. Esse modelo requer como dados de entrada, informações sobre precipitação, temperatura, umidade, tipos de solos, relevo e uso e ocupação do solo (SILVA et al., 2013). O modelo SWAT estima o balanço hídrico pela equação:

$$SW_t = SW + \sum_{t=1}^t (R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i)$$

Em que,

$SW_t$  o conteúdo final de água no solo (mm),  $SW$  o conteúdo de água no solo disponível para as plantas, definido como conteúdo de água inicial, menos o conteúdo de água no ponto de murcha permanente (mm),  $t$  o tempo (dias),  $R_i$  a precipitação (mm),  $Q_i$  o escoamento superficial (mm),  $ET_i$  a evapotranspiração (mm),  $P_i$  a percolação (mm), e  $QR_i$  o fluxo de retorno (ascensão capilar) (mm). No SWAT, a produção de sedimentos é simulada por intermédio da Equação Universal de Perdas de Solo Modificada - MUSLE. A MUSLE usa a quantidade de escoamento superficial e o pico de vazão para simular a produção de sedimentos, sendo dada pela equação abaixo:

$$P_{sed} = a \times (Q_{surf} \times Q_{peak} \times area_{hru})^b \times K_{usle} \times C_{usle} \times P_{usle} \times LS_{usle}$$

Na qual,

$P_{sed}$  é a produção de sedimentos (ton), “a” e “b” são coeficientes de ajuste (calibração);  $Q_{surf}$  o volume de escoamento superficial ( $m^3$ ),  $Q_{peak}$  a vazão de pico do escoamento ( $m^3/s$ ),  $area_{hru}$  a área das Unidades de Resposta Hidrológica – HRU (ha),  $K_{USLE}$  o fator de erodibilidade do solo ( $t \cdot h \cdot ha / MJ / mm$ ),  $C_{USLE}$  o fator de manejo e cobertura do solo (adimensional),  $P_{USLE}$  o fator de práticas conservacionistas (adimensional), e  $LS_{USLE}$  o fator topográfico (adimensional).

Para a determinação da produção de sedimentos na bacia foi utilizada a Equação Universal de Perdas de Solo Modificada, MUSLE. A principal diferença entre as duas equações é que a EUPS prevê a média anual bruta da erosão em função da força da chuva e, na MUSLE, o fator da força da chuva foi substituído pelo escoamento, o que melhora a projeção da produção de sedimentos, elimina a necessidade de índice de entrega e permite que a equação seja aplicada para eventos individuais de chuva.

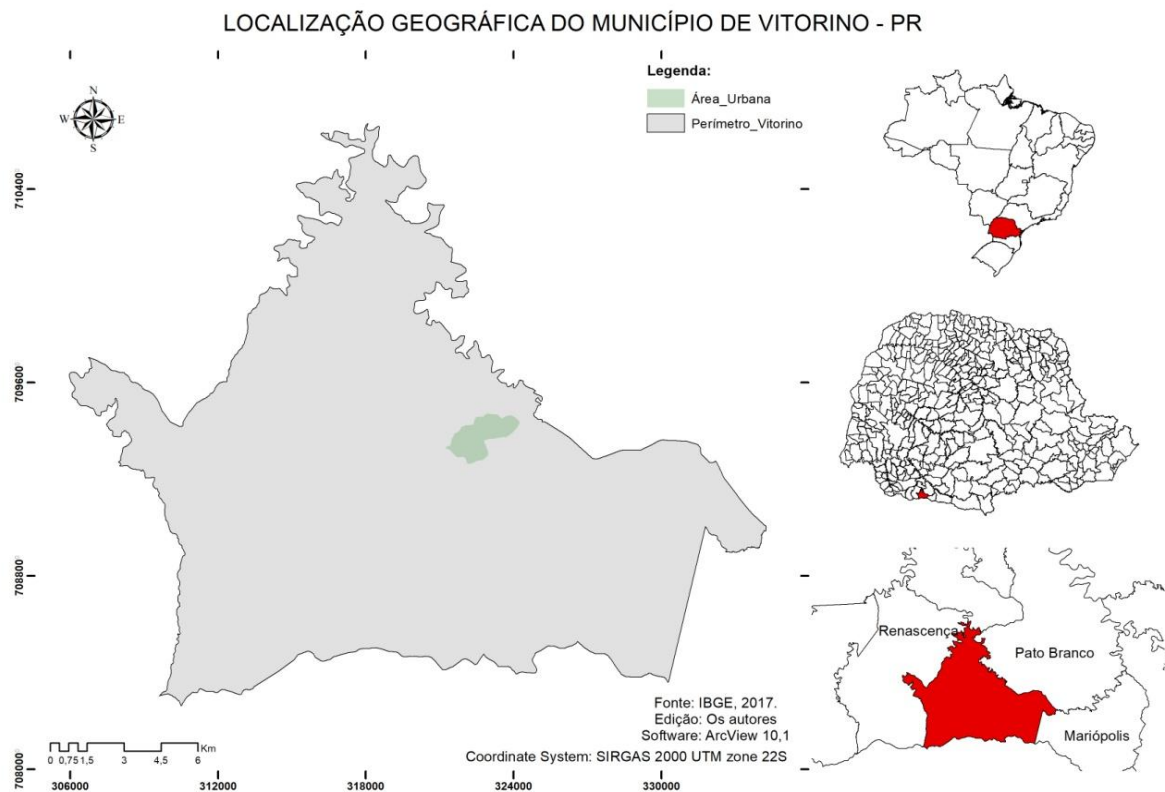
## 5 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

O presente capítulo apresenta e explora os resultados que foram viabilizados por meio do desenvolvimento da pesquisa.

### 5.1 O MUNICÍPIO DE VITORINO: ASPECTOS HISTÓRICOS

O município de Vitorino está localizado ao sudoeste do estado do Paraná, na região sul do Brasil, pertencendo à Mesorregião Sudoeste Paranaense e Microrregião de Pato Branco, conforme Figura 8.

**Figura 8: Localização Geográfica do Município de Vitorino PR**



Fonte: IBGE, adaptado pelo autor.

Teve como origem um entreposto que ficava no caminho percorrido pelas tropas de burro, transportando mercadorias entre Barracão e Clevelândia, no período de 1920 a 1925.



A construção da chamada Estrada Estratégica estimulou a vinda de migrantes oriundos dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, atraídos pela abundância e fertilidade da terra e pela possibilidade da exploração da madeira existente.

Os primeiros registros de ocupação do município datam a partir do ano de 1850. De acordo com Wachowicz, citado por Zago e Bertol (2003, p. 22) os colonizadores que saíram de Palmas com destino a Campo Erê, no ano de 1858, encontraram uma grande roça que fora admiravelmente plantada, embora em abandono:

[...] Serviu de salvação aos descobridores, que ali chegaram exaustos pelo cansaço e pela fome. Para perpetuar esse feliz acontecimento, o local foi chamado de Serra da Fartura. Por volta de 1905, quando já existiam moradores nesta região, um certo dia encontraram um índio morto no rio, nas proximidades de onde hoje é a localidade de Santo Antônio. A partir daí o rio ficou sendo conhecido por Rio do Índio Vitorino, Rio do Vitorino e finalmente Rio Vitorino, que ligaria, posteriormente, o nome ao povoado que surgiria a partir de 1911, com os primeiros moradores [...]

A colonização intensiva foi a partir dos anos de 1940 e 1950, concomitante com a ocupação da região sudoeste do Paraná, vieram famílias oriundas da Serra Gaúcha e Catarinense, descendentes de origem italiana, polonesa e alemã, atraídos para região pelas terras a preços acessíveis e férteis para o desenvolvimento da agricultura. Estas famílias exerciam a atividade agropecuária com fins de subsistência e venda do excedente, sendo que dentre as atividades primárias destacavam-se como principais a exploração da madeira e da erva-mate (primeiro ciclo econômico), da suinocultura e da produção de milho e feijão (segundo ciclo econômico). A colonização foi realizada em pequenas porções de terras, chamadas de “colônia”, tendo como figurante principal o “camponês” ou “colono”, o que, atualmente, tem sido conceituado de agricultura familiar.

Até a década de 1950 o município foi um sertão coberto pela floresta de araucária, entretanto, com a intensificação da imigração houve uma grande procura por terras férteis pela exploração do pinheiro. Como a procura de madeira para a construção de propriedades era cada vez mais intensa, surgiram, também, pequenas e rudimentares serrarias para atender exclusivamente às necessidades locais, que mais tarde e tecnificadas, impulsionaram a atividade.

O primeiro grande impacto de desenvolvimento que o município sentiu foi, sem dúvida, o Ciclo da Madeira. Exemplificando, na década de 1960 o município chegou a ter 22 serrarias, sendo também, nessa época, registrado o maior número da população com estimativas de cerca de 10.200 habitantes, censo populacional de 1970 (IBGE, 2017).

Apesar da instalação das serrarias auxiliarem na implantação dos núcleos populacionais e na constituição da infraestrutura, tais como casas, mercados e farmácias

(esses pertencentes às companhias exploradoras), era uma atividade nômade, se mantendo até o esgotamento da floresta. Aponta Wachowicz (1977, p. 136), que os trabalhadores das serrarias caracterizavam-se pela baixa qualidade de vida e a distância dos núcleos urbanos permitia o descumprimento de normas trabalhistas “A serraria deixa, por onde passa, uma região devastada, sem ter contribuído para a fixação duradoura da população”.

De modo a prover a alimentação, as criações (suínos, muares, equinos, bovinos), havia a necessidade de lavouras anuais e, para tanto, utilizavam-se do desmate, seguido da queima dos resíduos. A partir do ano de 1957, essa perspectiva ganhou força pelo advento da posse legal das terras (Revolta dos Posseiros) impulsionada pela fertilidade das terras, marcada pelo trabalho animal semi-mecanizado. A euforia pelas novas áreas férteis e inexploradas obscureceu qualquer traço de preocupação com o meio ambiente. Assim, pretendia-se passar de uma agricultura tradicional, totalmente dependente da natureza e praticada por meio de técnicas rudimentares, para uma agricultura mecanizada, que apresentou seus primeiros impactos socioambientais a partir da década de 1970.

De modo geral, podemos aferir que a modernização da agricultura vitorinense se consolidou em distintos momentos em relação à apropriação tecnológica. Dessa maneira, refletiu diretamente nas mudanças da organização territorial, resultando em diferentes conformações advindas da mecanização, do desmatamento, da concentração de terra, da degradação ambiental, entre outros.

Atualmente, a produção de grãos desenvolvida pelos agricultores está determinada pelo uso de tecnologias, tais como: a mecanização completa do processo produtivo, o uso de sementes melhoradas e transgênicas, fertilizantes sintéticos, herbicidas, fungicidas, inseticidas e afins. Alguns poucos agricultores desenvolvem a produção de grãos voltados para o consumo familiar e dos animais domésticos e, nesse caso, a produção não está baseada no uso intenso de tecnologias.

A pressão de utilização e abertura de novas áreas foi constante, chegando atualmente à ocupação com atividades agrícolas de cultivo em 79,5% do total de 30.800 hectares de espaço físico, prevalecendo um ciclo intensivo de uso do solo, com transição de culturas de inverno e verão, e da recente utilização da segunda safra (safrinha). De acordo com dados do DERAL (2017), o valor bruto da produção agropecuária (VBP) do município ultrapassaram os 251 milhões de reais para o ano base de 2016, fundamentado, principalmente, nas culturas da soja de primeira e segunda safra com o valor de 85 milhões, o feijão segunda safra com 62

milhões e, em relação à pecuária, o leite com 32 milhões, o frango de corte 18 milhões e os bovinos de corte com 3,5 milhões de reais.

Cabe destacar, ainda, que a pecuária leiteira apresenta-se consolidada no município, fundamentada sob um sistema de produção classificado como sistema a pasto, extensivo com suplementação, com silagem, rações, e resíduos de culturas. Estima-se que mais da metade das propriedades desenvolvem a bovinocultura leiteira integrada com outras atividades, especialmente com grãos (soja, milho, feijão). Essa integração exige o uso mais intensivo do solo e, conseqüentemente, caracteriza um ambiente mais propenso à degradação, caso não sejam adotadas medidas de manejo atenuantes.

A relação do homem com o ambiente no município está consolidada sob um sistema de exploração que exerce grande pressão ao ambiente natural. Dessa forma, o conhecimento sobre a interação das práticas agrícolas e das características naturais do espaço físico constitui fator estratégico para a preservação e conservação dos recursos naturais.

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

O diagnóstico do meio físico foi realizado por meio de técnicas de geoprocessamento e permitiu quantificar os principais elementos naturais da bacia hidrográfica se constituindo em uma importante etapa da gestão ambiental da unidade de pesquisa.

### 5.2.1 Clima

O clima do município na Classificação de Köppen é Cfa, caracterizado por ser mesotérmico, com temperatura média do ar nos três meses mais frios compreendida entre -3°C e 18°C; Temperatura média do mês mais quente maiores que 10 °C; Estações de Verão e Inverno bem definidas e úmido, com ocorrência de precipitação em todos os meses do ano. Conforme dados da estação experimental do Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR localizada próxima à área de estudo, em Pato Branco, apresentados na Tabela 7, trata-se de um clima tipicamente subtropical úmido, com chuvas bem distribuídas ao longo de todo ano, isto é, sem uma estação seca definida, mas com um verão, outono, inverno e primavera sensivelmente perceptíveis

Conforme dados climáticos apresentados, devemos reconhecer que, devido às altas temperaturas e volumes elevados de chuvas, existe uma pré-disposição à rápida decomposição da cobertura vegetal, o que dificulta, e muito, a manutenção de uma palhada uniforme na superfície do solo. Assim, a escolha de espécies de cobertura mais resistentes à rápida decomposição é de fundamental importância, assim como integrar um planejamento conservacionista.

**Tabela 7: Dados da estação meteorológica do IAPAR de Pato Branco registrados para o período de 1980 a 2010**

Mês	Temperatura					U. Relativa	Precipitação
	Média	Máxima absol.	Ano	Mínima absol.	Ano	Média (%)	Total (mm)
Janeiro	22,5	34,0	86/06	9,8	80	75	183,2
Fevereiro	22,2	35,0	79	8,0	87	78	169,4
Março	21,5	36,6	2005	3,6	87	75	127,8
Abril	19,2	32,6	2004	0,8	99	76	184,6
Maiο	15,6	29,8	81	-0,2	2007	77	201,2
Junho	14,4	27,2	vrs	-3,8	94	77	158,8
Julho	14,2	28,4	vrs	-4,0	2000	74	140,9
Agosto	16,1	32,0	94/98	-3,5	84	68	114,2
Setembro	16,9	35,2	88	-1,0	80	69	170,5
Outubro	19,4	33,8	85	1,6	85	71	251,1
Novembro	20,9	36,7	85	6,0	79/92	69	186,2
Dezembro	22,1	36,6	85	6,2	82	72	186,7
<b>ANO</b>	<b>18,8</b>					<b>73,4</b>	<b>2075</b>

Fonte: Iapar, 2012.

### 5.2.2 Geologia e Geomorfologia

Dentro do perfil do relevo do Paraná, Vitorino encontra-se no Terceiro Planalto, que compreende as terras localizadas a oeste da escarpa da Esperança. Também denominado Planalto de Guarapuava, que ocupa 2/3 da área do Estado.

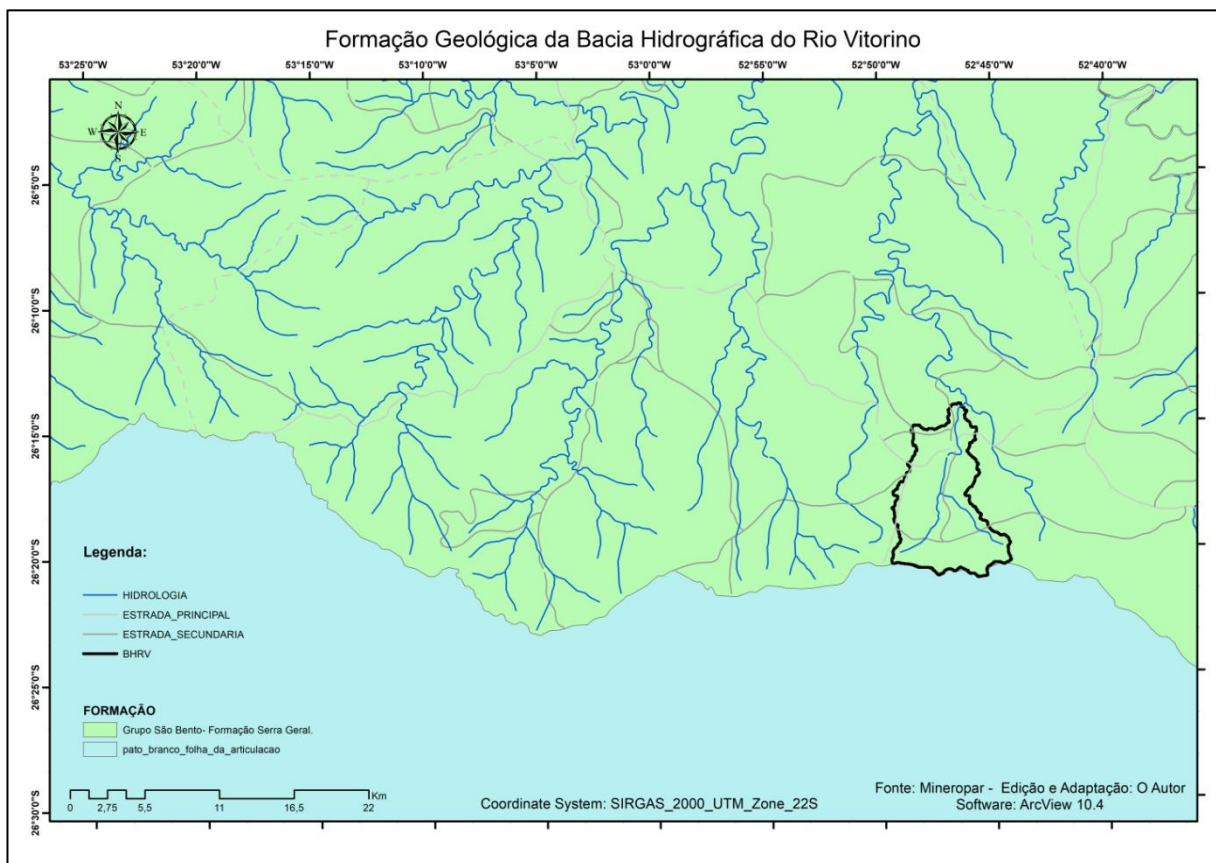
A região Sudoeste do Paraná é formada por rochas basálticas do Grupo São Bento, formação Serra Geral, conforme figura 9. Essas rochas basálticas são resultantes da consolidação do magma básico, pobre em óxido de silício, portanto, mais rico em óxido de ferro, magnésio, cálcio, titânio e entre outros. Como características principais, as rochas

basálticas apresentam coloração escura, sendo constituídas por minerais claros e escuros, predominando estes últimos.

O intemperismo dos minerais destas rochas normalmente produzem os argilominerais e, por isso, os solos originados desse processo geralmente apresentam textura argilosa com altos teores de óxidos de ferro.

A unidade da paisagem caracteriza-se por relevo suave, ondulado a acidentado, contendo pequenas áreas planas, escarpadas e até montanhosas, sendo as formas predominantes topos aplainados, vertentes retilíneas e convexas e vales em “U”, modeladas em rochas da Formação Serra Geral, com latossolo roxo distrófico, profundo, argiloso e bem drenado. Apresenta média e baixa fertilidade natural e teores altos de Alumínio tóxico (MINEROPAR, 2010).

**Figura 9: Inserção geológica da bacia hidrográfica do rio Vitorino**



Fonte: MINEROPAR (2017).

### 5.2.3 Análise Morfométrica

A mesorregião Sudoeste está localizada, em toda sua extensão territorial, no Terceiro Planalto ou Planalto do Trapp do Paraná, o qual é constituído por derrames basálticos, com cobertura sedimentar arenítica. A conformação de sua paisagem é bastante uniforme, determinada pelos pequenos planaltos e patamares, planaltos pouco elevados (IPARDES, 2004).

Com relação ao potencial hídrico das águas superficiais, a região se destaca por localizar-se na porção inferior do curso do rio Iguazu. Com uma extensão total de 1.060 km, esse rio e seus afluentes constituem a maior bacia hidrográfica do Estado do Paraná, sendo que 281 km de seu curso encontram-se no trecho da mesorregião Sudoeste, o qual apresenta corredeiras e saltos. Os principais afluentes, no curso inferior do rio Iguazu são, na margem direita, os rios Guarani e Andrade e, na margem esquerda, os rios Chopim, Capanema e Santo Antônio. Em relação às águas subterrâneas, a Microbacia Rio Vitorino, assim como toda a região está sobre o Aquífero Guarani, além da presença de significativo afloramento de nascentes de águas oriundas do lençol freático (AGUASPARANÁ, 2017).

A análise linear evidenciou que a rede de drenagem é representada pelo Rio Vitorino, que é o curso d'água principal, cujo comprimento é 12,68 km, orientado de sul para norte. Essa sub-bacia verte suas águas para a bacia hidrográfica do Rio Iguazu, sendo a microbacia, portanto, exorréica, com canais consequentes. A extensão do percurso superficial é de 324 m, representando a distância média, em metros, percorrida pelas águas pluviais entre o interflúvio e o canal permanente.

Com relação à análise areal, a microbacia hidrográfica do rio Vitorino apresenta uma área de 6565,38 km<sup>2</sup> e perímetro de 41 km. O padrão da drenagem é dendrítico, também conhecido como arborescente, porque em seu desenvolvimento assemelha-se à configuração de uma árvore e, também, por não apresentar nenhuma orientação preferencial ou organização sistemática. O comprimento total dos riachos foi de 136,89 km. A densidade hidrográfica da microbacia foi de 20,72 canais/km<sup>2</sup>, este parâmetro refere-se à quantidade de canais em relação à área da microbacia. A densidade de drenagem foi de 20,86 km/km<sup>2</sup>, sendo a microbacia considerada de alta densidade na classificação de Strahler (1952), a qual apresenta que unidades com mais de 15 canais/km<sup>2</sup> são considerados de alta densidade, conforme apresentado na tabela 8.

Da análise morfométrica podemos afirmar que a microbacia está sujeita a um processo erosivo mais intenso tanto pela alta densidade hidrográfica e de drenagem, como

pela amplitude altimétrica, sendo necessário um planejamento conservacionista ligado à utilização do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) ao longo da rede de drenagem. Na figura 10 pode-se visualizar o mapa elaborado pela extensão ARCHYDRO, base para a composição dos parâmetros morfométricos, indicando a composição das Unidades de resposta hidrológicas (sub-bacias) bem como a direção e orientação das vertentes.

Conforme aponta Cardoso (2006, p. 16) a densidade de drenagem de uma bacia hidrográfica é fator relevante na indicação do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem. Rodrigues et al. (2008) afirmam que, quanto maiores esses valores, mais propenso é o processo erosivo que incide na região.

**Tabela 8: Parâmetros morfométricos da microbacia hidrográfica do Rio Vitorino**

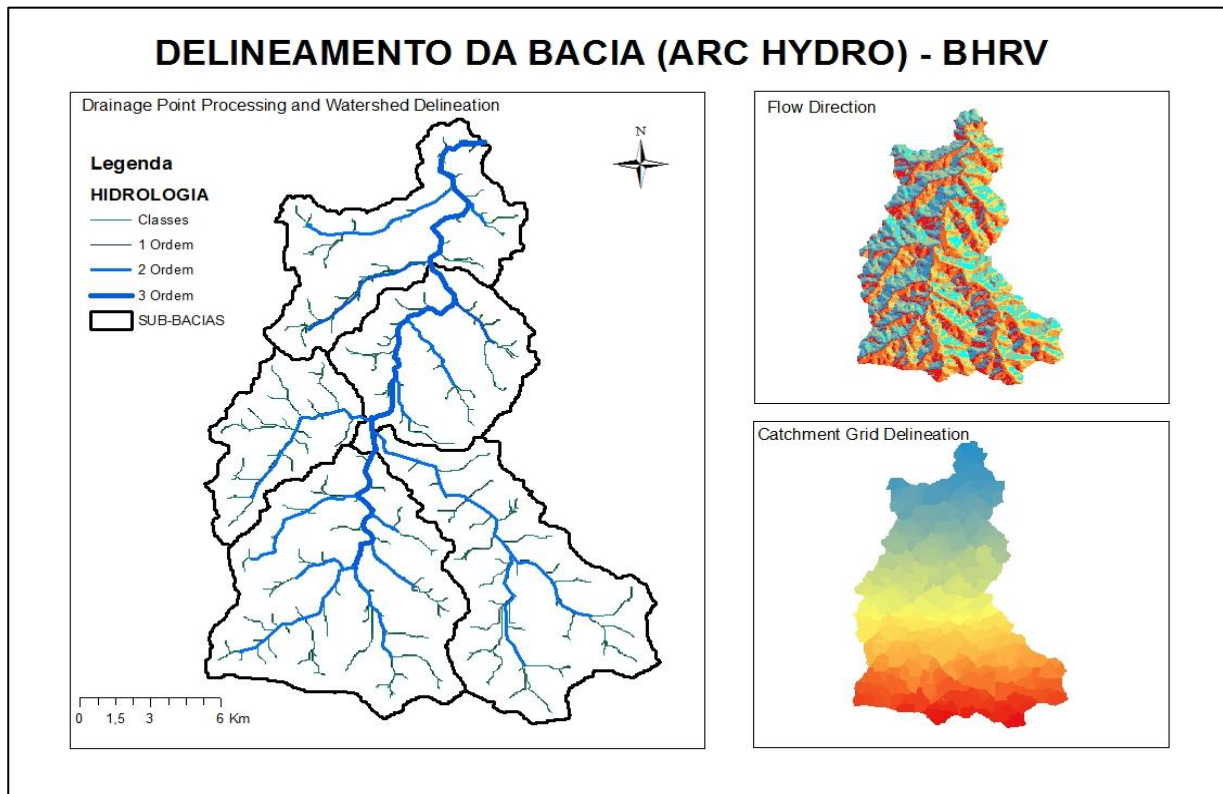
Análise Linear	
Comprimento da vazão superficial	136.89 km
Extensão do percurso superficial	10.43 km
Comprimento do Riacho principal	12.68 Km
Análise Aeral	
Área	6,56538 Km <sup>2</sup>
Perímetro	41 Km
Padrão de drenagem	Dendrítico
Densidade Hidrográfica	20.72 canais/Km <sup>2</sup>
Densidade de drenagem	20.86 Km/Km <sup>2</sup>
Índice de Forma	4,51
Análise Hipsométrica	
Cota máxima	988 m
Conta mínima	669 m
Amplitude altimétrica	319 m
Hierarquia Fluvial	
3º Ordem	

Fonte: Autoria própria, 2018.

O índice de forma obtido para a microbacia foi de 4,51, sendo que o menor valor possível a ser encontrado para essa relação é 1,0, valor que corresponderia a uma bacia circular, conseqüentemente, mais suscetível a enchentes. Sendo assim, do ponto de vista natural, ou seja, em condições normais de precipitação, excluindo-se eventos de intensidade extrema, demonstra baixa susceptibilidade à ocorrência de enchentes, uma vez que tende à forma retangular ou alongada, ao passo que índices acima de 1,5 representam bacias não sujeitas a grandes enchentes (BACK, 2014, p. 64).

A hierarquia fluvial é composta por um curso principal de 3ª ordem, de acordo com a classificação de Strahler (1952), possui um sistema de drenagem com boa ramificação e grande quantidade de tributários, conforme Figura 10.

**Figura 10: Mapa de delineamento da bacia a partir de dados SRTM (hidrologia)**



Fonte: Autoria própria, 2018.

#### 5.2.4 Análise da Declividade da BHRV

A compreensão da dinâmica dos processos erosivos de determinada área é fundamentada, entre outros, na consideração de parâmetros morfométricos do relevo, o que fornece informações importantes no estabelecimento de diretrizes para o uso do solo, que proporcionalmente, quanto mais elevada, maior a velocidade de escoamento de água e, dessa maneira, a força erosiva se torna mais intensa. A inclinação do declive do terreno também influencia as perdas pela erosão hídrica, pois, à medida que ela aumenta, o volume e a velocidade da enxurrada também crescem e reduzem a infiltração de água no solo. Com isso, se tem o aumento da capacidade de transporte das partículas de solo pela enxurrada, assim como a própria capacidade desta de desagregar solo (MARQUES NETTO, 2008, p. 28).

A declividade do terreno é uma variável básica para a segmentação de áreas em praticamente todos os procedimentos no planejamento territorial, por apresentar estreita



associação com processos de transporte gravitacional (escoamento e erosão). A declividade é a inclinação da superfície do terreno em relação à horizontal, ou seja, consiste na relação existente entre o desnível topográfico entre dois pontos e a distância horizontal entre esses pontos (GRANELL-PÉREZ, 2004). O seu cálculo depende do intervalo de medidas, seu resultado deve ser considerado uma estimativa, ou seja, “o cálculo de declividade será sempre o resultado de um diferencial altimétrico entre vizinhos e, portanto, dependente da distância considerada” (VALERIANO, 2008, p. 26).

A microbacia do Rio Vitorino, em relação ao relevo, assemelha-se ao padrão da região. Observa-se pela Tabela 9 e Figura 11 que 25,6% da área se concentram nas classes de relevo plano (<3% de declive) e suave ondulado (>3% a <8% de declive).

**Tabela 9: Classes de declive e relevo que ocorrem na microbacia do Rio Vitorino, por área e porcentagem, segundo modelo proposto pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e EMBRAPA SOLOS (2006).**

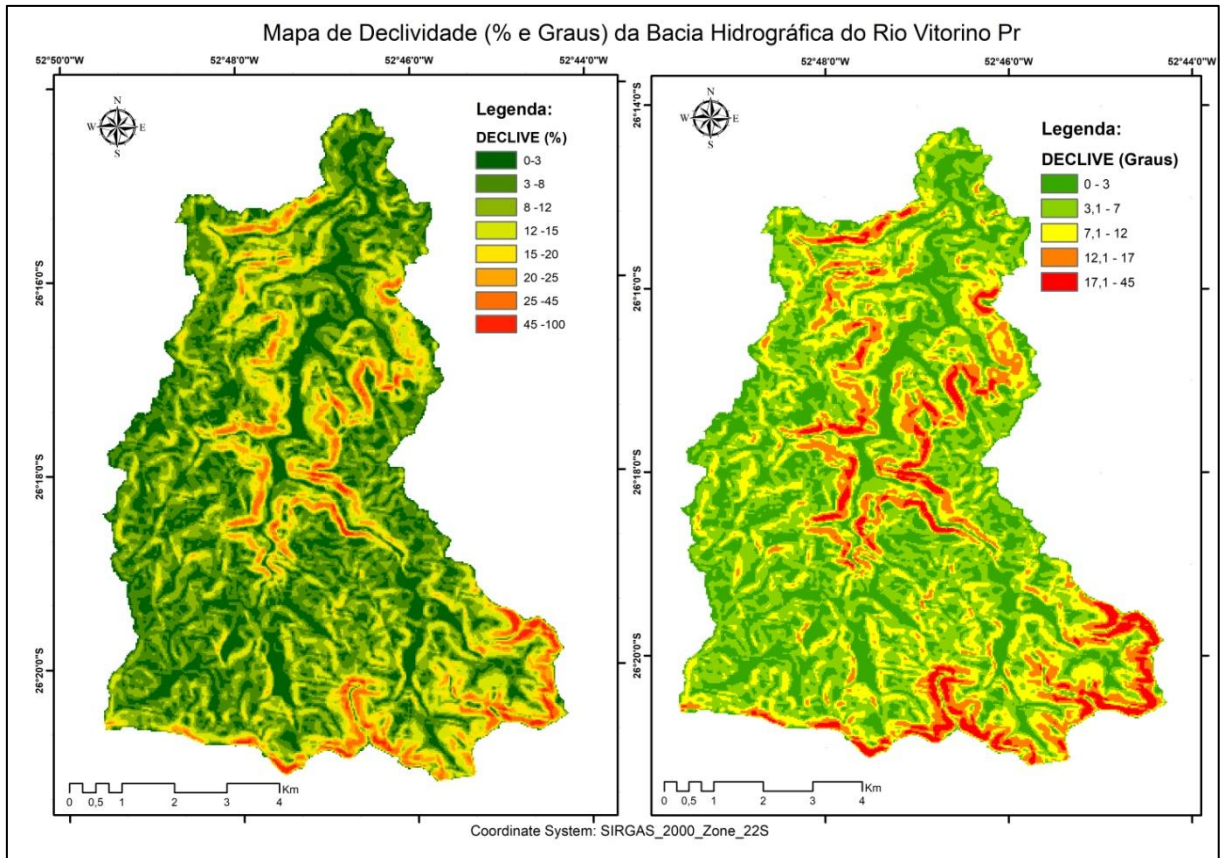
Classes de Declive	Área (ha)	Área (%)	Relevo
0-3%	643,41	9,8	Plano
3-8%	1037,33	15,8	Suave Ondulado
8-12%	1477,22	22,6	Ondulado
12-15%	978,24	14,9	Ondulado
15-20%	1057,02	16,1	Ondulado
20-25%	420,18	6,4	Forte Ondulado
25-45%	912,58	13,9	Forte Ondulado
45%-100%	39,39	0,6	Montanhoso
Total	6565,38	100,0%	

Fonte: Autoria própria a partir do processamento, 2018.

As áreas de relevo ondulado (>8% a <20% de declive) se distribuem em 53,6% da área total. O relevo forte ondulado representa 20,3% da área, enquanto a área com relevo montanhoso corresponde a 0,6% da área da microbacia, constituindo-se no menor percentual verificado.

Nas áreas onde a declividade é mais elevada, há uma suscetibilidade natural ao processo erosivo (PRUSKI et. al. 2004). Os interflúvios correspondem às áreas mais declivosas, permitindo concluir que há maior velocidade de escoamento superficial e, neste caso a cobertura vegetal se torna fator determinante, haja vista que essa é passível de manejo.

**Figura 11: Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Vitorino Pr**



Fonte: Autoria própria, 2018.

Segundo o enquadramento no contexto brasileiro, o relevo de Vitorino está totalmente abrangido pelos Planaltos e Chapadas da Bacia do Paraná. A parte mais acidentada e também mais elevada do município está situada na porção Sul e Sudeste, sendo limitado com o município de Mariópolis e com o estado de Santa Catarina. Nesta região está assentada a Serra da Fartura, que serve de divisas e limites, assim: como divisa dos municípios de Vitorino/PR, São Lourenço do Oeste/SC e Jupiá/SC; limite dos estados do Paraná e Santa Catarina; e como divisor de águas das Bacias hidrográficas do Paraná e do Uruguai. A Serra da Fartura constitui um ponto geográfico de referência, localizada no ponto mais elevado do município, com 1090 m de altitude. Os terrenos menos acidentados e mais acessíveis à mecanização agrícola estão situados no centro-oeste do município (SEAB, 2015, p. 124).

A influência da topografia do terreno na intensidade erosiva verifica-se, principalmente, pela declividade e comprimento de rampa. Esses fatores interferem diretamente na velocidade das enxurradas. Conforme Resende (1985), a erosão dos solos se eleva das formas côncavas para as convexas, passando pela linear que apresenta maior estabilidade. Para ele, as formas côncavas apresentam remoção ineficiente de sedimento,

principalmente na base de suas encostas, sendo forma de maior convergência de água, enquanto a forma convexa apresenta maior divergência.

A declividade se relaciona com a erosão por atuar sobre a velocidade de escoamento da água gerada pela declividade. Assim, quanto maior a declividade, maior a velocidade, e, conseqüentemente, maior será o volume carreado, devido à força erosiva. No caso do comprimento da rampa, esta é diretamente proporcional ao volume de água e à velocidade de escoamento que podem favorecer o processo erosivo. Em alguns casos, entretanto, o comprimento da rampa diminui o efeito erosivo, considerando-se que a capacidade de infiltração e a permeabilidade do solo reduzem o efeito (MARQUES NETTO, 2008, p. 35).

#### 5.2.5 Identificação dos Tipos de Solos da BHRV

O solo, por influenciar e sofrer a ação dos processos erosivos, conferindo maior ou menor resistência, constitui o principal fator natural relacionado à erosão. Sua influência deve-se as suas características físicas, principalmente, textura, estrutura, permeabilidade e densidade e suas propriedades químicas, biológicas e mineralógicas (SALOMÃO et al., 1999).

A identificação das classes de solo que ocorrem em uma microbacia constitui-se em uma informação importante para determinar a capacidade e aptidão de uso dos mesmos, bem como os riscos potenciais de degradação desse recurso, sob diferentes sistemas de manejo.

Considera-se destacar que a região Sudoeste do Estado do Paraná é formada por rochas basálticas do Grupo São Bento, formação Serra Geral. As rochas basálticas resultam da consolidação do magma básico, pobre em óxido de silício, portanto mais rico em óxido de ferro, magnésio, cálcio, titânio, entre outros. As rochas básicas apresentam coloração escura; sendo constituídas por minerais claros e escuros, predominando estes últimos (ANTUNES, 2000).

O intemperismo dos minerais destas rochas normalmente produz argilominerais, por isso os solos formados geralmente apresentam textura argilosa e com altos teores de óxidos de ferro. Nas áreas de relevo mais suave, ocorrem solos mais profundos, muito intemperizados, já nas áreas de relevo mais movimentado, os solos são normalmente menos desenvolvidos, menos profundos e com fertilidade natural alta (ALMEIDA, 2011).

A textura, ou seja, a granulometria das partículas, influencia diretamente na capacidade de infiltração e de absorção de água da chuva, produzindo mais ou menos

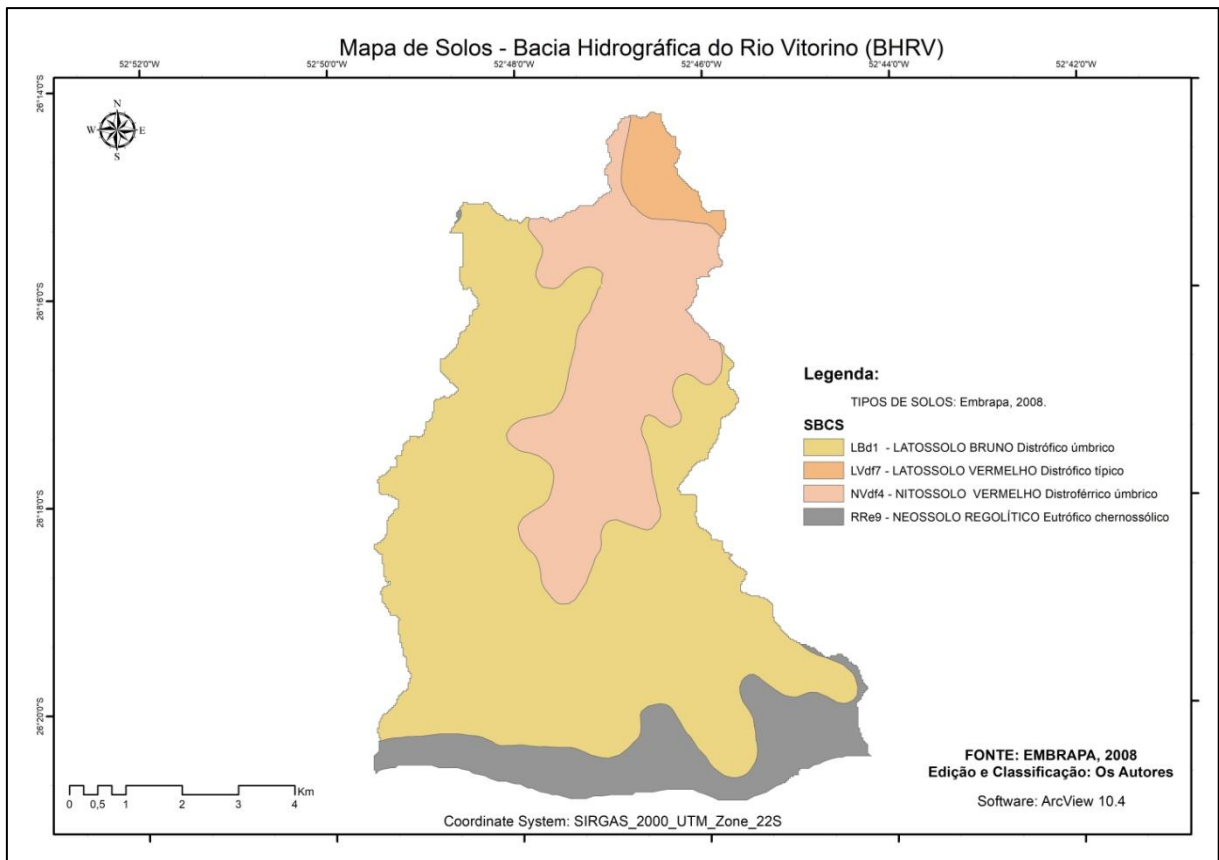
escoamentos superficiais. A estrutura, modo como se arranjam as partículas de solo, igualmente à textura, influencia na capacidade de infiltração e absorção da água de chuva e na capacidade de arraste das partículas do solo. A permeabilidade determina maior ou menor capacidade de infiltração da água de chuva, estando diretamente relacionada com a porosidade do solo. A densidade do solo é inversamente proporcional à porosidade e permeabilidade. Por efeito de compactação, observa-se um aumento da densidade, reduzindo macroporos e tornando o solo mais erodível. As propriedades físicas, químicas, biológicas e mineralógicas do solo influenciam no estado de agregação das partículas do solo, aumentando ou diminuindo a resistência do solo à erosão.

Conforme EMBRAPA (2008), as classes de solo que ocorrem com maior frequência na microbacia são Nitossolos Vermelhos, Latossolos Regolíticos, Latossolos Brunos e Neossolos Regolíticos.

Na Figura 12, encontra-se o mapa de ocorrência dos solos da microbacia do Rio Vitorino. A quantificação em hectares e percentual é apresentada na Tabela 10, indicando que, em 13,52 % da área ocorre a presença de NEOSSOLO REGOLÍTICO Distróficos, 29,83 % da área ocorre NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, 8,79% com LATOSSOLOS VERMELHOS Distroféricos e a predominância maior de LATOSSOLOS BRUNOS Distróficos em 47,86% da microbaacia.

A importância da consideração de cada tipo de solo recai sob a perspectiva de suas capacidades, atributos e funcionalidades. De forma geral, foi observado que o tipo de solo presente na porção superior da Bacia possui características de solos mais rasos (neossolos) que, associados a declividades maiores, apresenta restrição ao uso agrícola em decorrência da elevada pedregosidade, constituindo-se de uma área de um potencial de maior fragilidade, demandando planejamento e uso de acordo com essas características.

Os Neossolos Regolíticos, ainda que utilizados com sucesso do ponto de vista econômico, principalmente com fruticultura e reflorestamento, apresentam baixo potencial de uso devido a sua pequena profundidade efetiva, presença de pedregosidade e em terrenos declivosos. A preservação desses solos é essencial, tendo em vista que, por sua baixa profundidade, conservá-los é de especial interesse para manutenção da qualidade da água que atinge os reservatórios subterrâneos (STÜRMEER, 2008, p. 08).

**Figura 12: Mapa dos Tipos de Solos na Bacia hidrográfica do Rio Vitorino**

Fonte: EMBRAPA, 2008.

**Tabela 10: Classes de solos quanto à ocorrência nominal e percentual na Microbacia do Rio Vitorino**

Classes de Solos	Área (ha)	Ocorrência (%)
LVdf7 - LATOSSOLOS VERMELHOS Distróferricos	577,22	8,79
RRe9 - NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Eutróficos	887,65	13,52
LBd1 - LATOSSOLOS BRUNOS Distróficos	3142,35	47,86
NVdf4 - NITOSSOLO VERMELHO Distróferrico	1958,81	29,83
<b>TOTAL</b>	<b>6565,38</b>	<b>100</b>

Fonte: EMBRAPA (2008).

A maior parte da área da Bacia é composta por latossolo profundo e bem drenado, com boa aptidão agrícola e com uma capacidade maior de antropização, com alta estabilidade, baixo risco de erosão e grande capacidade de suporte, tão logo, menos sujeito à degradação natural.

Os Latossolos oferecem baixa fertilidade, possuem boas condições físicas para o uso agrícola, associadas a uma boa permeabilidade por serem solos bem estruturados e porosos, porém, em decorrência desses aspectos físicos, possuem baixa retenção de umidade

(SANTOS et al., 2017). Na região sudoeste do Paraná, em decorrência dos índices pluviométricos, apresenta maior fertilidade. Estão associados normalmente a relevos planos e suave ondulados e, mais raramente, a áreas mais acidentadas. Devido às boas condições físicas e aos relevos mais suaves, exibem alto potencial para o uso agrícola. São amplamente utilizados com produção de grãos, como soja, milho, etc. (SANTOS et al., 2017).

O manejo dos Latossolos exige, geralmente, a adoção de correção de acidez, adubação e, nos climas mais secos, de irrigação em função da exigência da cultura. Observa-se resistência aos processos erosivos, em decorrência das boas condições físicas. No entanto, tem-se observado que o uso intensivo de mecanização, típico do nosso sistema, tem ocasionado a compactação destes solos, tornando-os mais suscetíveis à erosão (SANTOS et al., 2017).

Na porção centro inferior da bacia foram identificados Nitossolos Vermelhos que apesar de bem estruturados e de textura argilosa, estão associados ao relevo ondulado nesta região, além da localização com maior área de contribuição hidrográfica implicando na necessidade de estratégias de manejo e uso adequados.

Os Nitossolos são constituídos por material mineral, apresentam baixa atividade de argila. São solos profundos bem drenados, de coloração variando de vermelha a brunada. Em geral, são moderadamente ácidos a ácidos. Podem ser vistos em diversos ambientes climáticos, estando normalmente próximos às áreas de relevos desde suave ondulado a forte ondulado (SANTOS; ZANONI, 2017).

Os Nitossolos podem apresentar alta ou baixa fertilidade natural, acidez ligeiramente elevada e teores variáveis de alumínio. Em áreas mais planas, com maior fertilidade natural e maior profundidade, oferecem alto potencial para o uso agrícola. Já em ambientes de relevos mais declivosos, possuem alguma limitação para uso agrícola relacionada à restrição da mecanização e à suscetibilidade à erosão (SANTOS; ZANONI, 2017).

O manejo apropriado dos Nitossolos implica na adoção de correção de acidez para os que apresentam pH baixo e teores mais elevados de alumínio, bem como adubação de acordo com a necessidade da cultura. Quanto aos Nitossolos em áreas mais declivosas, além das medidas já citadas, são necessárias práticas conservacionistas devido à maior vulnerabilidade aos processos erosivos (SANTOS; ZANONI, 2017).

### 5.2.6 Uso e Ocupação do Solo da BHRV

A partir da análise da imagem podemos verificar que a data avaliada coincide com o período de pós-colheita na região, além disso, identificamos uma área expressiva de solo exposto, o que é fator preponderante aos cenários de erosão e perda de solo. Com o solo descoberto, ocorre uma maior vulnerabilidade à ação das chuvas, resultando no favorecimento do escoamento superficial. Como já comentando, quando observado o escoamento superficial existe um aumento na susceptibilidade da desagregação das partículas, somando a esse fato a escassez de vegetação nativa, é correto afirmar a ocorrência de erosão. Portanto, um manejo adequado do solo associado à presença de cobertura vegetal reduz significativamente a ocorrência dos processos de degradação de solo e da água.

O levantamento do uso do solo baseado na imagem de satélite foi subdividido nos principais usos: Lavoura/Cultivo, Reflorestamento, Solo Exposto, Vegetação Nativa e Pastagem conforme dados apresentados na Tabela 11 e Figura 13.

Evidenciou-se que a maior parte da área da microbacia é ocupada por lavouras em cultivo, representando 41,46% da área total. Um aspecto relevante é a grande área com solo exposto (22,44%), entre outras razões, decorrente da data da imagem coincidir com um período de pós-colheita na região, demonstrando potencial em risco de degradação. Ainda foi observada uma percentagem de 18,42 % de vegetação nativa, 5,72% de áreas urbanizadas e 11,95% de pastagens perenes.

Em superfícies cultivadas, as principais alterações estão relacionadas à remoção da cobertura vegetal para que os solos sejam úteis para a agricultura. Essas alterações na superfície do solo potencializam mudanças no equilíbrio natural representado pelo trinômio água-solo-planta, contribuindo para alterações na forma como a precipitação atinge a superfície do solo.

Conforme Lima (2003), em uma superfície isenta de cobertura vegetal, a precipitação impacta diretamente sobre o solo, ocasionando a desagregação e o transporte das partículas de solo, bem como, o “selamento”<sup>6</sup> dos poros na superfície pelas partículas finas, diminuindo sua

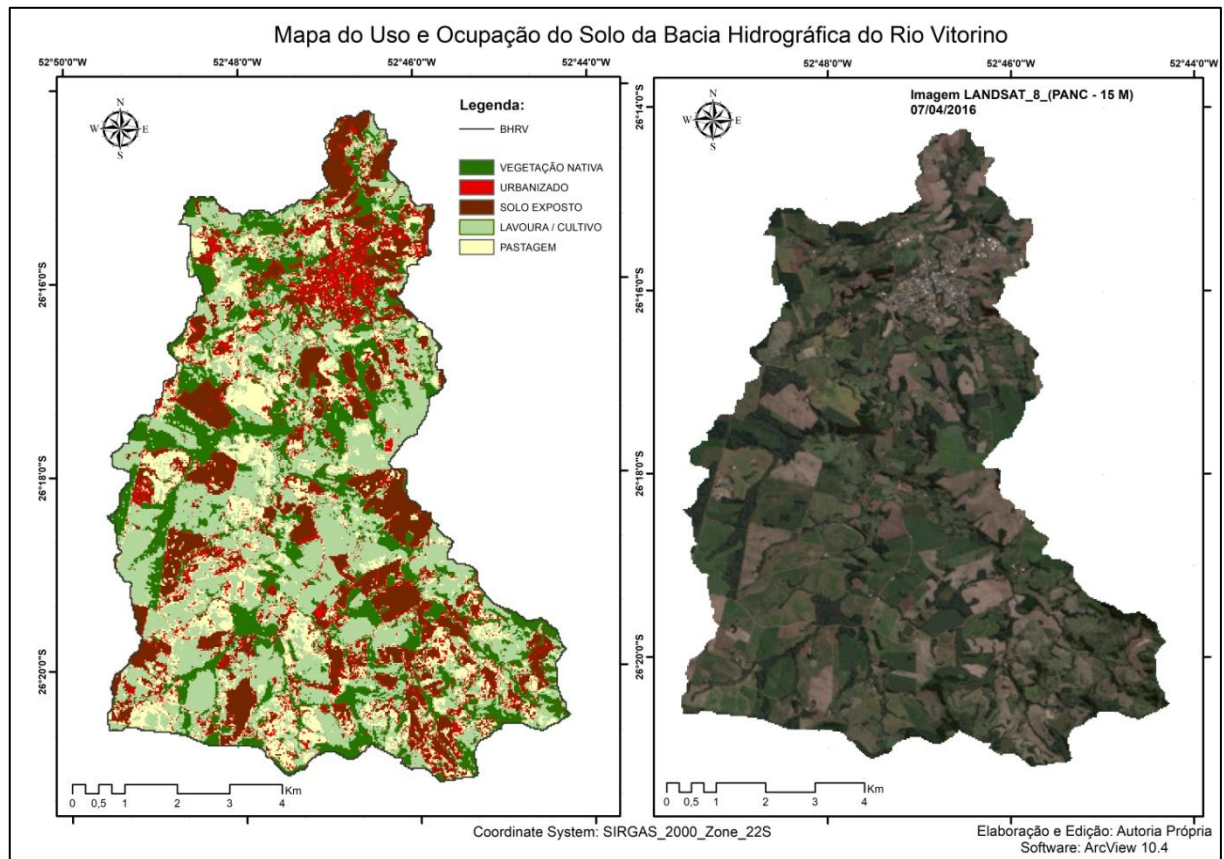
---

<sup>6</sup> O selamento superficial é caracterizado por constituir uma fina camada de partículas com uma organização e adensamento que dificultam a infiltração da água no perfil do solo. É originado através do impacto de gotas da água das chuvas naturais ou de irrigações. Alguns efeitos negativos causados por este fenômeno são: a diminuição da infiltração e do volume armazenado d'água no solo, o aumento do escoamento superficial com consequente aumento da erosão, a diminuição da genuinação e menores trocas gasosas entre a atmosfera e o solo (OLIVEIRA, 2012).



capacidade de infiltração. Ou seja, quanto mais protegida pela cobertura vegetal estiver à superfície do solo contra a ação da chuva, menor será nele a possibilidade de ocorrência de erosão (PRUSKI, 2009).

**Figura 13: Mapa Temático de Uso do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Vitorino-PR, a partir da Imagem de Satélite Landsat 8**



Fonte: Autoria própria a partir da Imagem de satélite Landsat 8.

**Tabela 11: Uso do Solo quanto à ocorrência nominal e percentual na Microbacia do Rio Vitorino**

Usos (classes)	Área (ha)	% na Bacia
Lavoura/Cultivo	2722,02	41,46
Urbanizado	376,02	5,72
Pastagem	784,77	11,95
Solo Exposto	1473,66	22,44
Vegetação Nativa	1208,90	18,42
<b>Total</b>	<b>6565.38</b>	<b>100</b>

Fonte: Autoria própria, 2018.

Pesquisas acerca da produção de sedimentos são importantes para o planejamento de vários processos de conservação do solo e da água, análise de sedimentação em reservatório, estudo de mudanças na morfologia de rios, deposição em fundos de rios e planejamento de



projetos agrícolas (SINGH et al., 2008). A produção de sedimento de uma bacia hidrográfica é a forma de saída do processo de erosão da bacia, sendo difícil de ser calculado, porque é resultado de uma complexa interação de vários processos hidrogeológicos (PRUSKI, 2009).

Para Di Luzio et al. (2002) o retardo do fluxo e o aumento da infiltração no solo, pela vegetação, proporcionam um excelente mecanismo de proteção ao solo raso contra a erosão. Hudson (1995) afirma que a cobertura vegetal funciona como uma capa protetora para o solo e a sua presença é o fator chave na redução da erosão hídrica.

O uso e a ocupação do solo, quando manejados de forma incorreta e sem as devidas medidas para a redução dos impactos, refletirão diretamente nos processos de perda de solo por erosão. A cobertura vegetal tem como função evitar o impacto direto das gotas de chuva no solo, interceptando-as, o que acaba por dissipar sua energia cinética, conseqüentemente irá reduzir a força de desagregação das partículas do solo o que diminui a velocidade de escoamento superficial, resultando em um transporte menor de sedimentos.

Conceitualmente a vegetação é a defesa natural que um terreno possui contra a erosão. Entre os principais efeitos da cobertura vegetal, Bertoni e Lombardi Neto (1985) destacam a proteção contra o impacto direto das gotas de chuva; Aumento da infiltração pela produção de poros no solo por ação das raízes e a dispersão e quebra da energia das águas de escoamento superficial;

### 5.2.7 Estimativa da Erosividade

A identificação dos níveis de suscetibilidade à erosão serve de respaldo para o planejamento de ações voltadas para o manejo e monitoramento de uma bacia hidrográfica, bem como para facilitar o direcionamento de investimentos para áreas consideradas prioritárias. Essa metodologia é capaz de representar a distribuição do potencial de um determinado território de sofrer erosão a partir do desenrolar dos processos pós-precipitação.

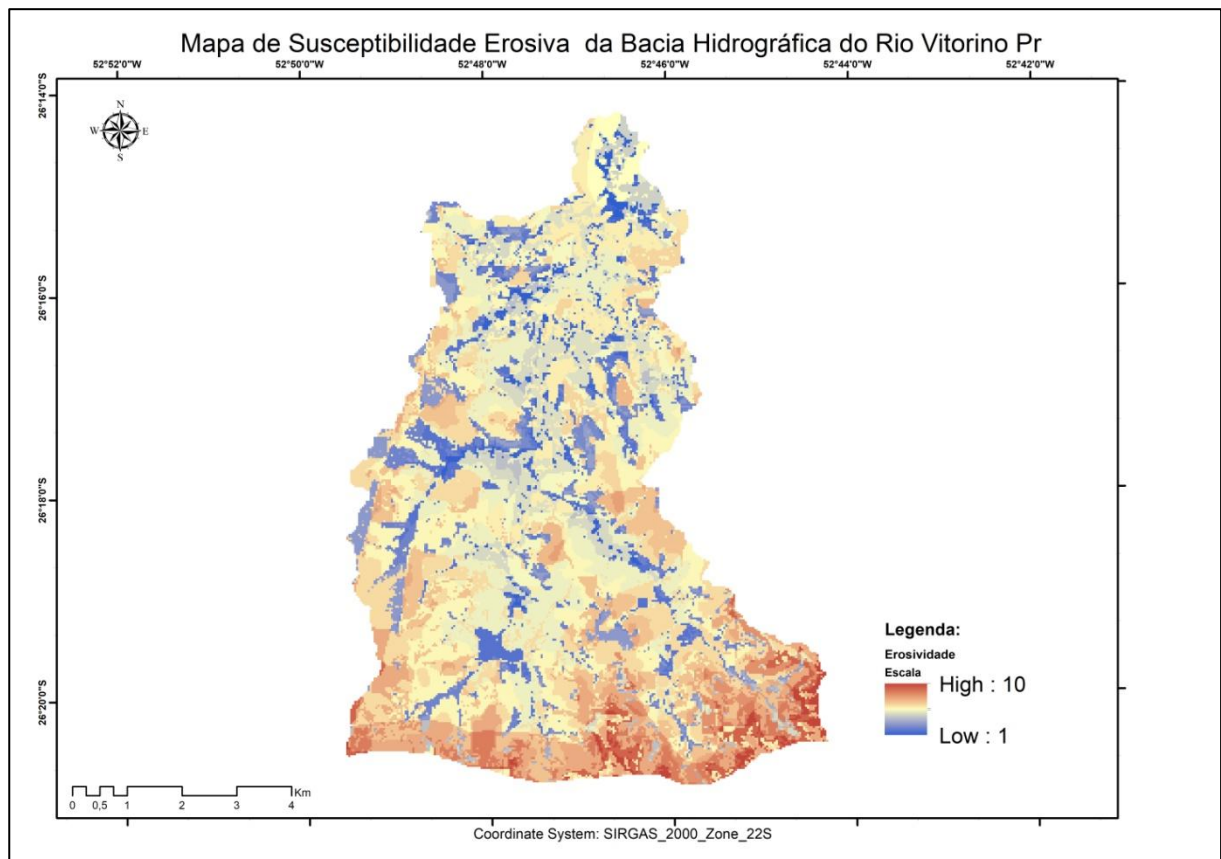
A suscetibilidade à erosão laminar dos terrenos pode ser cartograficamente determinada, com base na análise dos fatores naturais influentes no desenvolvimento dos processos erosivos. Ao admitirmos que as perdas de solo por erosão laminar são comandadas por diversos fatores relacionados às condições naturais dos terrenos, destacando-se a chuva, a cobertura vegetal, a topografia e os tipos de solos (SALOMÃO, 1999) e que seus efeitos ocorrem na superfície dos solos e o desenvolvimento dos processos erosivos está condicionado por fatores como: Características dos solos (erodibilidade); Agressividade das

chuvas (erosividade); Tipos de relevo (que determinam os tipos de escoamento); além de Cobertura vegetal e tipos de uso e manejo do solo, assumimos que a combinação desses fatores determina a maior ou menor predisposição de uma área à erosão superficial.

Uma das análises que contribuem para o estudo de susceptibilidade erosiva é a análise de multicritério, pois permite a investigação combinada de variáveis para gerar um mapa síntese como produto final. O método de álgebra de mapas apresentou boa resposta de interação de fatores pré-definidos para esse tipo de análise, uma vez que consiste na aplicação de operações aritméticas para associar várias camadas de modo a obter, como resultado, classificações que permitem análises diversas. A análise de multicritério associada com o método de álgebra de mapa possibilita agrupar e classificar áreas que apresentem potencial de susceptibilidade erosiva semelhante.

A estimativa de densidade de focos erosivos representada na Figura 14 permite observar que a porção superior pode ser considerada como uma área crítica em se tratando de degradação ambiental, com inúmeras feições erosivas, resultando em ecossistemas mais frágeis ou com uma resiliência menor. Nestes casos o manejo do solo se torna ainda mais importante.

**Figura 14: Mapa de susceptibilidade erosiva da BHRV na escala adotada na pesquisa**



Fonte: Dados de processamento.

A partir da Figura 14, pode-se afirmar que a suscetibilidade à erosão vai aumentando no sentido norte-sul da bacia, áreas de maior suscetibilidade à erosão correspondendo às de maior altitude, de solos mais rasos (Neossolo e Nitossolo) e com áreas de menor presença de vegetação nativa.

Em relação ao risco de erosão dessas áreas, destaca-se que: 1) As áreas mais propensas à erosão encontram-se no trecho superior com maiores declividades associadas a solos mais rasos, assinalando para uma maior suscetibilidade da região e, concomitantemente, uma atenção maior no manejo e uso da mesma; 2) O fator topográfico se mostrou determinante quanto ao potencial de erosividade; e 3) concomitantemente, o mapa demonstra boa resposta à cobertura vegetal linearmente às regiões com solo exposto, evidenciando um dos principais problemas da abordagem. Nas áreas com vegetação nativa, foram observadas as menores densidades de focos de risco a suscetibilidade erosiva.

Por meio da tabela 12 se observa que a distribuição da suscetibilidade erosiva considerada na escala da pesquisa é concentrada, em sua maior, proporção entre 3 e 8, que perfazem uma área de 64,3% da BHRV.

**Tabela 12: Áreas de suscetibilidade erosiva na BHRV na escala da pesquisa.**

Classes de Erosividades (Escala da Pesquisa)	Área (ha)	Área (%)
0-1	538,36	8,2
1-2	446,44	6,8
2-3	374,22	5,7
3-4	669,66	10,2
4-5	1089,85	16,6
5-6	709,06	10,8
6-7	906,02	13,8
7-8	846,93	12,9
8-9	538,36	8,2
9-10	446,48	6,8
Total	6565,38	100,0%

Fonte: Fonte: Autoria própria.

A partir disso, é possível conhecer as áreas que devem ter maior atenção por parte de pesquisadores e fiscalização pelos técnicos, assim como que necessitam de orientação sobre

máxima cobertura de solo, cultivo de áreas aptas para culturas anuais, emprego de semeadura em contorno e práticas mecânicas, associadas ao conjunto de práticas conservacionistas orientadas à prevenção da erosão.

Dessa maneira, mesmo que em caráter superficial, podemos, pela integração dos elementos condicionantes aos processos erosivos, espacializar seus efeitos, por meio dessa metodologia, desse modo, tornando possível identificar as regiões mais sensíveis.

### 5.3 DIAGNÓSTICO SÓCIOAMBIENTAL

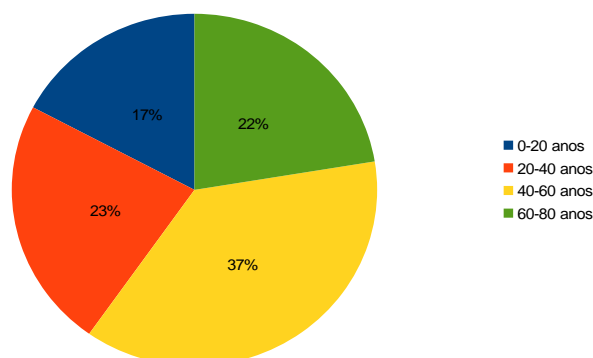
Com base na metodologia de seleção e amostragem, 50 estabelecimentos rurais compuseram a amostra da pesquisa na bacia hidrográfica do Rio Vitorino.

#### 5.3.1 População, Escolaridade e Habitação

Identificou-se no público entrevistado que havia 177 pessoas, com 52,5% do sexo masculino e 47,5% do sexo feminino, perfazendo uma média de 3,54 pessoas por estabelecimento existente e 2,52 habitante por habitação.

No gráfico 1, pode-se observar o agrupamento das pessoas por faixa etária, em que se destaca a participação relativamente proporcional das faixas etárias 0-20 anos, 20-40 anos e 40-60 anos. Estes dois últimos grupos, que somados chegam 60% da população, representam a população em atividade econômica.

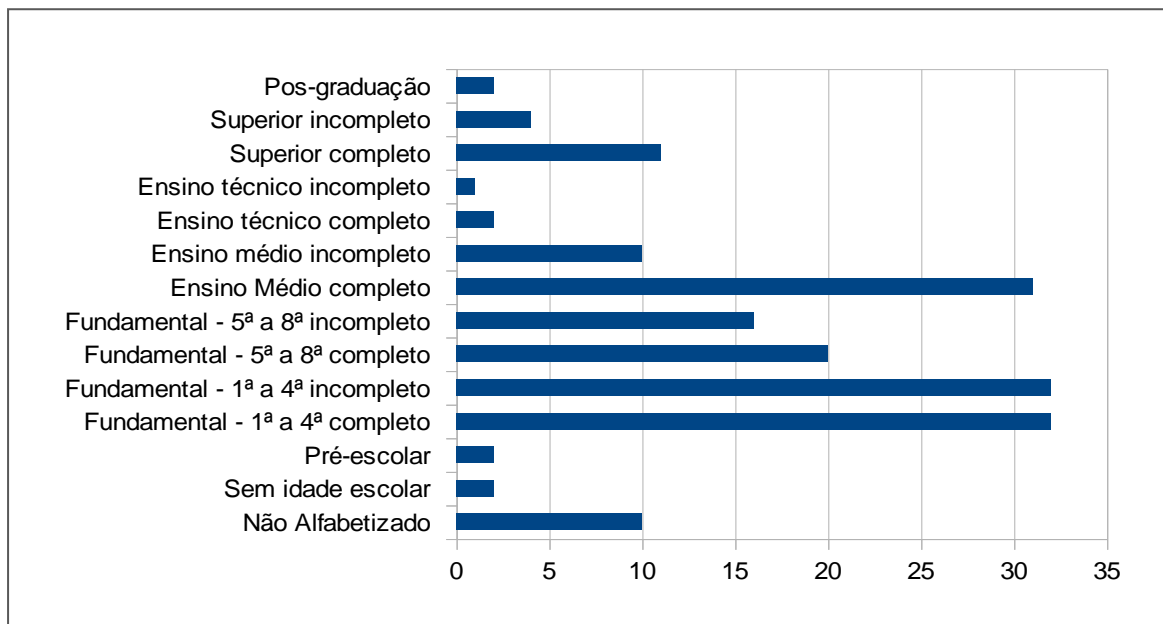
**Gráfico 1: Distribuição da população residente na Microbacia do Rio Vitorino, em faixas etárias**



Fonte: Dados de campo.

Referente à escolaridade da população da Microbacia do Rio Vitorino, é possível observar no gráfico 2, que ainda existe população analfabeta (10 casos). Ainda, destaca-se que 57,1% da população possui escolaridade compreendida entre conclusão parcial ou total do ensino fundamental. Já com formação de nível superior, completa ou não, tem-se 9,7% da população.

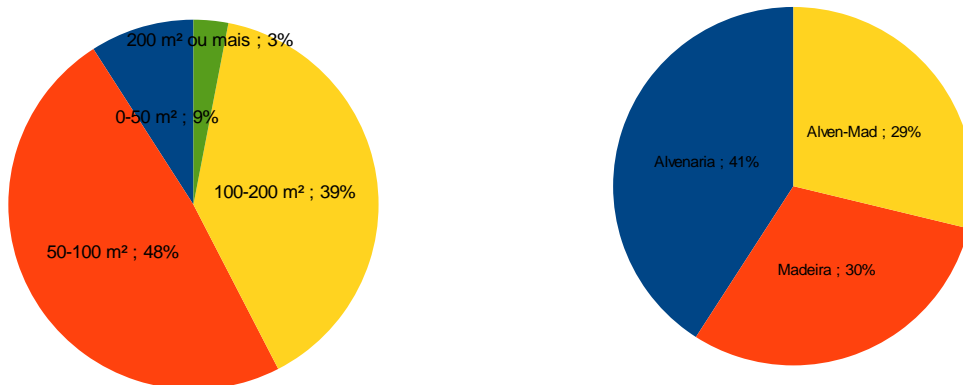
**Gráfico 2: Distribuição da população residente na Microbacia do Rio Vitorino, em percentual, por escolaridade**



Fonte: Dados de campo.

Ao todo, foram identificadas 65 moradias nos estabelecimentos visitados. Conforme o gráfico 3, há a presença de 57% de casos cuja habitação é menor que 100 m<sup>2</sup> e que há 30% das casas construídas de madeiras e outras 29% mistas.

**Gráfico 3: Distribuição das habitações existentes na Microbacia do Rio Vitorino e suas características**



Fonte: Dados de campo.

### 5.3.2 Abastecimento e Saneamento Básico

A Tabela 13 apresenta os dados relativos aos sistemas de abastecimento de água utilizados pelas famílias da Microbacia do Rio Vitorino.

**Tabela 13: Sistema de abastecimento de água utilizado pelas famílias da Microbacia do Rio Vitorino**

<i>Sistema de abastecimento</i>	<i>Total</i>	<i>%</i>
Rede pública	12	4,26
Rede local	1	0,00
Fonte/Nascente	27	89,36
Poço artesiano individual	8	0,00
Poço comum	8	6,38
Córrego/rio	1	0,00
Açude	0	0,00
Outros	0	0,00
Total	57	100,00

Fonte: Dados de campo.

O uso de nascentes/fontes como origem principal da água é feito por 27 famílias. Destas, uma família não possui mata ciliar ao redor da nascente, já as demais possuem, em média, 18 metros, variando de 5 a 60 metros. Destas fontes, com relação a sua proteção, 10 casos não possuem qualquer tipo de proteção, 10 casos possuem proteção com solo-cimento e 7 casos com proteção de alvenaria ou tubo de concreto. Ainda, 16 casos possuem tampa de proteção (tubo de concreto, alvenaria e/ou solo cimento) e os demais casos não possuem cobertura. Assim, nota-se que existem 11 casos em que há a necessidade de melhorias gerais na proteção das nascentes.

Dos casos que usam nascentes, 76% relatam que a vazão diminui a partir de 30 dias de estiagem. Ainda, desses casos, 28% relatam que a água fica turva após alguns dias de chuvas consecutivos.

Ainda em relação às nascentes, 4 agricultores declararam realizar qualquer tipo de desinfecção das mesmas com frequência variada de tempo e os demais não realizam tal procedimento.

Na maioria das propriedades rurais dos agricultores da microbacia, a água consumida é proveniente de nascentes ou poços escavados, seja para consumo humano ou nas instalações, cuja origem é do lençol freático. Essa água pode estar contaminada por não haver uma proteção adequada ou em consequência da contaminação do lençol freático, que pode acontecer por dejetos de animais, esgotos a céu aberto, fossas negras (buracos feitos na terra cheios de pedras ou não, nos quais é jogado, sem tratamento prévio, o esgoto do banheiro).

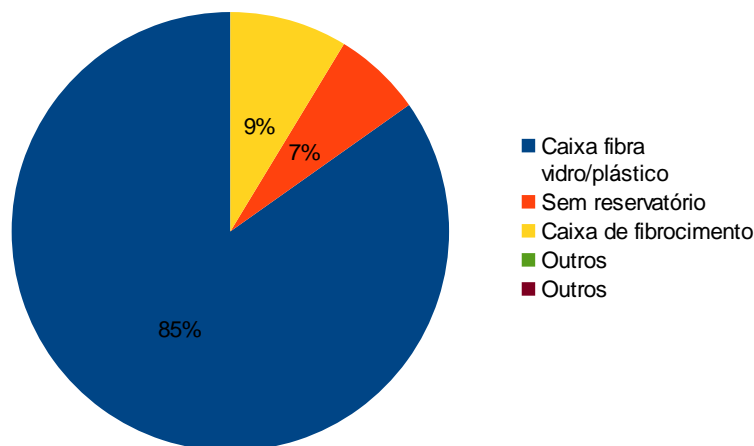
A água destinada ao consumo humano, considerada segura, é aquela cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendem aos padrões de potabilidade e não oferecem riscos à saúde. No Brasil, esses padrões são regulamentados pela portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde (2012). Quanto aos parâmetros microbiológicos, determina que, para a água ser potável, isto é, poder ser consumida sem causar riscos à saúde de pessoas e animais, ela não deve apresentar coliformes termotolerantes, também conhecidos como coliformes fecais.

Com base nos resultados de análise de água de nascentes de sistemas alternativos individuais do meio rural obtidos no ano de 2011 pela 7ª Regional de Saúde do Paraná, em torno de 60% das amostras analisadas apresentaram contaminação por coliformes termotolerantes, indicando água imprópria para o consumo. Nesse caso é necessário fazer o tratamento da água, sendo que a cloração é o processo mais utilizado, por ser um método simples, de baixo custo e eficiente.

Além dos prejuízos à saúde da população rural, a água contaminada também pode causar perdas econômicas, principalmente nas unidades produtoras de leite, ao ser utilizada na higienização dos tetos das vacas e nos equipamentos de ordenha. Segundo Otenio et al. (2010), da Embrapa Gado de Leite, a qualidade da água na atividade leiteira tem sido determinante na obtenção de melhores resultados, pois interfere na qualidade do leite, auxiliando na redução da contagem bacteriana, deixando de ser veículo de contaminação durante a ordenha e conservação do leite ordenhado. A água contaminada pode ter bactérias que causam mastite e que contaminam o leite, podendo provocar acidez.

Em relação aos reservatórios de água para consumo humano, conforme o gráfico 4, 84% das famílias possuem reservatórios de caixa de fibra de vidro. Outros 9% possuem caixa de fibrocimento e 7% não possuem reservatório. Em 34% dos casos não há desinfecção dos reservatórios e nos casos onde há desinfecção, ela ocorre com periodicidade semestral, anual ou em maior frequência.

**Gráfico 4: Distribuição dos tipos de reservatórios de água para consumo familiar existentes na Microbacia do Rio Vitorino**



Fonte: Dados de campo.

O tratamento da água para consumo humano não é realizado em 91% dos casos, sem a realização de análises bacteriológicas ou químicas das águas para verificar a sua qualidade. Os demais casos fazem uso de cloração ou filtragem como forma de melhorar a qualidade da água.

Para o consumo animal, informado por 33 famílias, 33% não possuem reservatórios, 12% usam açudes ou tanques escavados e 55% usam construções em alvenaria, caixas de fibra de vidro ou outro tipo de reservatório para os animais. Apenas em 47% dos casos há controle da entrada da água no reservatório.

Em relação ao destino das águas usadas nas habitações, referente às águas das cozinhas, 46% lançam as águas a céu aberto, 17% lançam em córrego/rio, 15% lançam em fossas e 22% em caixa de gordura.

Já em relação aos dejetos humanos e demais águas dos banheiros, 11% lançam os mesmos em fossas secas, 80% usam fossa negra sem tratamento prévio e 9% lançam em fossa séptica. Fossas negras são escavações feitas no solo, sem nenhum tipo de revestimento interno, que recebem todo o esgoto do banheiro sem nenhum tipo de tratamento prévio. Esse esgoto despejado na fossa negra infiltra no solo, podendo causar contaminação do lençol freático e, por consequência, as nascentes de águas e poços.

Em 100% dos casos há a separação do lixo, sendo que em 84% dos casos há recolhimento na propriedade, na comunidade ou entregue na cidade. Nos demais casos, ocorre a queima, enterro ou o lixo é deixado a céu aberto.



Já o lixo orgânico tem sua destinação direcionada para o quintal ou horta, dado aos animais e outras destinações.

### 5.3.3 Agropecuária

Do total de agricultores diagnosticados na microbacia, 86% podem ser enquadrados como agricultores familiares. No geral, a área média de cada estabelecimento é de 29,16 hectares.

Conforme informações levantadas a campo, com relação às áreas dos agricultores, mais da metade da área da microbacia é utilizada com culturas anuais. Dentro desta categoria, os agricultores da microbacia desenvolvem a produção de milho e soja, principalmente, além de feijão como culturas comerciais no período do verão. Já no período de inverno cultivam trigo, aveia, azevém ou deixam o terreno em pousio.

A produção de grãos desenvolvida pelos agricultores da microbacia está assentada num sistema de uso de tecnologias como a mecanização de todo o processo produtivo, uso de sementes melhoradas com modificações genéticas (transgenia), fertilizantes sintéticos, herbicidas, fungicidas, inseticidas e afins. Alguns poucos agricultores desenvolvem a produção de grãos voltados para o consumo familiar e dos animais domésticos, nesses casos, a produção não está baseada no uso intenso de tecnologias. A Tabela 14 apresenta o rendimento das principais culturas anuais (grãos) médios do município de Vitorino, os quais podem ser tomados como referências para o contexto da microbacia.

**Tabela 14: Rendimento médio (kg/ha) das principais culturas anuais no município de Vitorino. Safra 2015/2016**

Lavoura	Produtividade (kg/ha)
Feijão das águas	1.200
Feijão das secas	1.235
Milho safra normal	10.000
Soja	3.600
Soja safrinha	1.200
Trigo	3.000

Fonte: SEAB/DERAL, 2015.

Ainda, do levantamento realizado sobre abastecimento de pulverizadores, identificou-se que a maioria dos agricultores fazem uso de abastecedores particulares. Além do uso do solo com o cultivo de grãos, a ocupação com áreas de preservação ambiental e reserva legal perfaz um total de 19% da área da microbacia. Outro uso expressivo é a destinação para forrageamento dos animais, com o cultivo de pastagens permanentes ou mesmo como poteiros que, somados, correspondem por 26% da área. As lavouras permanentes, compostas, principalmente, pelo cultivo de pinus, eucaliptos e de frutíferas em geral, compõem 1% da área da microbacia.

Referente à mecanização rural, identificou-se que o uso de trator agrícola e máquinas/implementos é feito por aproximadamente 85% dos estabelecimentos identificados, e em torno de 65% recorre ao aluguel de serviços de mecanização de terceiros para efetuar seus serviços, principalmente para os tratos culturais das lavouras anuais (soja, milho, feijão, aveia, azevém, etc.).

Em relação à pecuária, conforme os dados da Tabela 15, há um destaque para a bovinocultura de leite, com um rebanho de 820 cabeças e desenvolvida em 33 estabelecimentos, sendo em 27 casos comercialmente. A presença deste rebanho bovino demonstra que a bovinocultura de leite é uma importante fonte de renda para as famílias da microbacia, que em conjunto com a produção de grãos, formam o sistema “grãos+leite”, num sistema de integração lavoura-pecuária, sendo o principal sistema de produção existente.

Ainda, tem-se a bovinocultura de corte, com um rebanho de 201 animais, desenvolvida comercialmente em quatro estabelecimentos. Ao todo, tem-se 1001 cabeças de bovinos na microbacia. Assim, a presença de expressivo rebanho bovino é um fator a ser ponderado no contexto da microbacia, pois há uma produção de dejetos animais que estão causando problemas de contaminação ambiental quando não há a destinação adequada. Por outro lado podendo ser úteis no manejo da fertilidade dos solos.

A presença de animais em áreas de pastejo nestes sistemas integrados de Grãos e Leite, com animais pastejando a aveia+azevém no período de inverno em áreas de lavouras de soja, milho e feijão do verão, acabam por alterar as propriedades físicas e químicas do solo, com destaque para a compactação do solo e a alteração na ciclagem de nutrientes, devido ao animal ser uma carga e estar constantemente em movimento sobre o solo, bem como consumir a produção vegetal uniformemente distribuída e retorná-la desuniformemente. Além disso, o processo de pastejo excessivo pode acarretar numa retirada excessiva de biomassa do solo, levando o mesmo a perdas dos níveis de matéria orgânica, o que pode comprometer a

manutenção do sistema de plantio direto. Desta forma, pode haver problemas de manejo dos solos sob plantio direto nas áreas usadas com integração lavoura-pecuária.

**Tabela 15: Rebanho existente na Microbacia do Rio Vitorino, em função do tipo, número de estabelecimentos e tamanho do rebanho**

<i>Rebanho</i>	<i>Nº estabelecimentos</i>	<i>Comercial</i>	<i>Rebanho informado</i>
Bovinos de leite	33	27	820
Bovinos de Corte	5	4	201
Suíños	13	2	124
Aves	34	2	21564
Ovinos	4	0	39
Caprinos	3	0	115
Piscicultura (Nº tanques)	20	xx	47

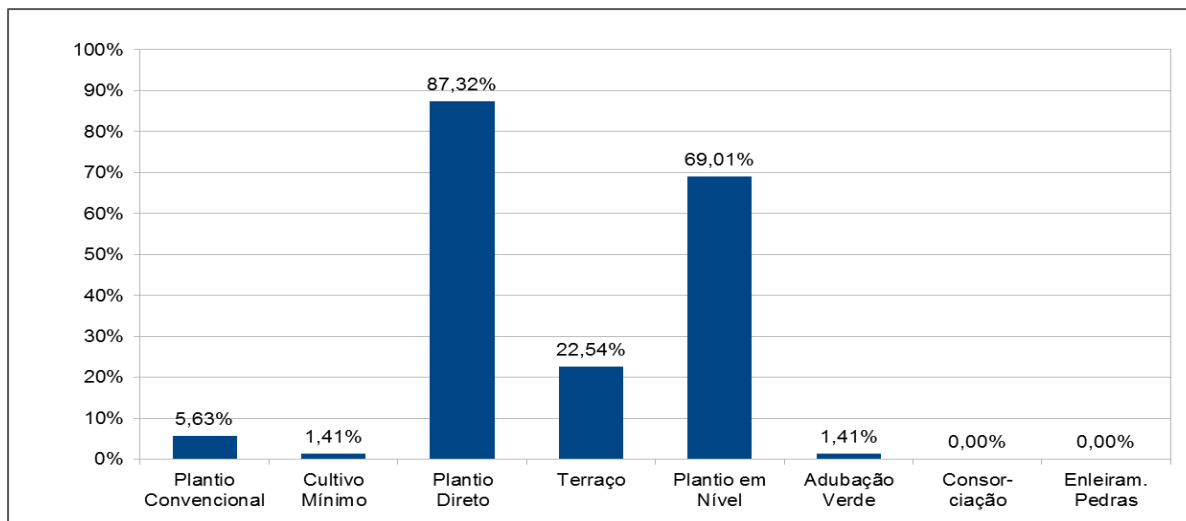
Fonte: Dados de campo.

Além da bovinocultura de leite e de corte, a suinocultura e a avicultura aparecem como atividades produtivas desenvolvidas por dois agricultores para cada atividade. As demais explorações animais (piscicultura, caprinocultura e ovinocultura) possuem caráter voltado ao consumo familiar.

#### 5.3.4 Práticas de Manejo

Com base nas informações coletadas e apresentadas no gráfico 5, nota-se que o uso do plantio direto nas áreas de lavouras é uma prática recorrente pelos agricultores, porém não é uma prática de adoção geral. O Plantio direto é a forma de manejo desejável, pois é tido, atualmente, como a principal forma de manejo do solo de forma conservacionista, tendo como princípios o não revolvimento mínimo do solo, a rotação de culturas e a cobertura permanente do solo, favorecendo o incremento dos teores de matéria orgânica do solo, infiltração das águas das chuvas e diminuição da erosão dos solos. Porém, as práticas de plantio em nível, rotação de culturas e uso de terraços não têm sido adotadas de forma complementar ao plantio direto em sua totalidade, o que pode tornar-se um ponto vulnerável em relação à qualidade do plantio direto executado pelos agricultores.

**Gráfico 5: Práticas de manejo do solo adotadas nas áreas manejadas de culturas anuais, pelos agricultores da Microbacia do Rio Vitorino**



Fonte: Dados de campo

### 5.3.5 Aspectos da Conservação de Solo e Percepção Ambiental

A partir da análise das informações emitidas pelos agricultores, foram identificados sete indicadores de Conservação do Solo, de acordo com a percepção do público entrevistado. Os indicadores foram classificados conforme a frequência de citação e o nível de percepção relativo, visualizado na Tabela 16.

**Tabela 16: Classificação dos indicadores de Conservação do Solo mencionados pelos agricultores entrevistados**

Indicador	Frequência (%)	Nível de Percepção (A) Alto (B) Baixo
Presença de Erosão (formas variáveis)	52	Alto
Relevo	10	Baixo
Práticas Mecânicas Recomendadas	14	Baixo
Alternativas Isoladas ou Aleatórias	26	Alto
Sistema de Plantio Direto	72	Alto
Cobertura Verde	28	Baixo
Importância C.S	82	Alto

Fonte: Dados de campo.

Conforme as informações apresentadas, a caracterização do modelo produtivo dos agricultores familiares do Município de Vitorino centra-se no cultivo de grãos (principalmente

na soja, milho e feijão) mesclado com a pecuária leiteira. A presença deste rebanho bovino demonstra que a bovinocultura de leite é uma importante fonte de renda para as famílias do município que, em conjunto com a produção de grãos, formam o sistema “grãos+leite”, num sistema de integração lavoura-pecuária, caracterizando um sistema de produção existente.

Assim, a presença de expressivo rebanho bovino é um fator a ser ponderado no contexto local, além da questão econômica, a presença do rebanho pode ser atrelada à questão ambiental. Afinal, podemos pensar que os dejetos do rebanho podem ter duas diretrizes: quando não tendo um descarte de forma correta, pode gerar contaminar o meio ambiente; porém se bem conduzido pode ser útil e fonte para o manejo da fertilidade dos solos.

Quando questionados da existência de erosão em suas propriedades, 62% admitiram ter em um ou outro estado ou intensidade, demonstrando que o modelo de produção vigente é resiliente a readequações ambientais concordando quando comparado com o baixo nível de adoção de práticas mecânicas recomendadas agronomicamente de controle da erosão (14%). Além disso, um número maior de propriedades adotaram ou experimentaram práticas isoladas e aleatórias (26%), na maioria sem êxito conforme alguns relatos:

*“Q7 – Fiz algumas caixas de retenção”;*

*“Q9 – Canalizei com pedras, como se fosse um dreno”;*

*“Q27 – Formou valetas em alguns locais, mas aos poucos vou colocando terra novamente”;*

*“Q24 – Contratei uma máquina e fomos abrindo buracos de contenção nas áreas mais irregulares”;*

*“Q37 – Todo ano após a colheita escarifico em alguns pontos pra aumentar a infiltração”;*

Com base nessas informações, nota-se que 72% relataram que fazem uso do plantio direto como prática conservacionista, nas áreas de lavouras é uma prática incipiente pelos agricultores. Essa forma de manejo é desejável, pois o sistema plantio direto é tido, atualmente, como a principal forma de manejo do solo de forma conservacionista. Tendo como princípios o não revolvimento ou revolvimento mínimo do solo, a rotação de culturas e a cobertura permanente do solo, favorecendo o incremento dos teores de matéria orgânica do solo, infiltração das águas das chuvas e diminuição da erosão dos solos. Porém, as práticas de plantio em nível, rotação de culturas e uso de terraços não têm sido adotadas de forma complementar ao plantio direto em sua totalidade, o que pode tornar-se um ponto vulnerável em relação à qualidade do plantio direto executado pelos agricultores.

Quanto à prática do sistema plantio direto/SPD, foi observado que ocorre no município, exatamente como relatado por Bertol et al. (2016). Os autores têm o entendimento do emprego unicamente do SPD como estratégia para o controle da erosão hídrica, além de contrariar os esforços empreendidos nas ações de pesquisa e assistência técnica, e que contribuíram para uma melhoria ambiental considerável, tem favorecido o processo de erosão, se caracterizando como ineficiente se não adotada conjuntamente com demais.

No que se refere à cobertura vegetal, apenas 28% citaram como prática conservacionista, evidenciando, assim, a falta de compreensão das esferas que compõe um sistema de plantio direto de qualidade como, por exemplo, no relato dos agricultores 04 e 42:

*“Q04 - Sempre deixo o solo coberto. Ajuda pra evitar a erosão”.*

*“Q42 – Nas áreas onde faço a silagem é mais difícil. Mas nas outras mantenho a palhada”.*

Percebemos a necessidade de melhorar o processo de manejo de solo pela adoção do plantio direto, inclusive devido a pouca área com adoção de terraceamento, declividade das áreas e a citação pelos agricultores de ocorrência de erosão laminar em aproximadamente 52% das áreas manejadas. A conservação do solo deve ser compreendida como uma associação de métodos de manejo e de uso do solo, com a finalidade de preservá-lo das formas de degradação ocorridas por fatores antropogênicos ou naturais.

Na maioria das situações práticas, procura-se evitar a erosão, mas as técnicas conservacionistas vão além dessa preocupação. Busca-se, também, proteger o solo dos danos causados pela atividade agropecuária, como a compactação ou desagregação excessiva (NAIME, 2008). Essa afirmação pode ser evidenciada pelo relato do Agricultor 17 e 33:

*“Q17 - "Se eu tivesse mais áreas não largava o gado. Isso iria ajudar”.*

*“Q33 - “Precisamos cuidar da terra, deixar a cobertura, não largar o gado [...]”.*

Observamos a escassez do público que admite o problema conservacionista de forma sistêmica e integrada, em que, na maioria dos relatos, mesmo nos mais positivos, ocorreu a adoção de apenas algumas medidas, trabalhadas de maneira pontual e isolada como observadas nas falas Q38 e Q47. Assim:

*“Q38 - “Ainda mantenho na lavoura uma boa cobertura vegetal, algumas curvas de níveis e rebaixei os terraços. Mas, quando chove muito é possível perceber os problemas”.*

Destacando que, nesse caso, provavelmente não estão sendo observados outros critérios de aptidão e uso agrícola do solo, e/ou as unidades hidrográficas de planejamento.

Já no Q47 o relato apresenta-se da seguinte maneira:

*Q47 - “Tirei as curvas de níveis pra facilitar as operações. Minha conservação é feita por plantio direto e entendida como não revolvimento do solo”.*

De forma geral podemos concluir que a percepção ambiental relacionada à importância da conservação do solo dos agricultores entrevistados é alta. Em relação a esse dado, 82% apontam ser importante conservar o solo, conforme seguem algumas declarações:

*Q 18 - “Se cuidar da terra garantimos nosso lucro”.*

*Q29 – “Temos um bom clima, mas para boas colheitas o solo é mais importante”.*

*Q33 - “Não adianta colocar adubação e a água levar embora”.*

*Q 44 – “É muito importante conservar o solo. Sem as boas condições dele não produzimos direito”.*

A associação por parte dos agricultores foi de apenas 14% cujas respostas aos processos erosivos foram relacionadas ao relevo de suas terras. Os agricultores identificam os solos localizados nas áreas de relevo que possuem menor declividade como as de menor susceptibilidade erosiva. Exemplificando:

*Q02: “Não escorre água. A maioria do terreno é plano”.*

*Q8: “Não preciso colocar curvas de nível ou terraços, pois onde eu planto é ‘chato’”.*

*Q35: “No geral não tenho erosão, pois as áreas são mais planas”.*

Apesar de não ter sido abordada a relação direta dos processos erosivos aos tipos de solos presentes no município, estes se constituem em importantes indicadores de uso e manejo a serem considerados de acordo com suas aptidões específicas, que nos permitem fazer associações importantes. Nas áreas de relevo mais suave, ocorrem solos mais profundos, muito intemperizados, já nas áreas de relevo mais movimentado, os solos são normalmente menos desenvolvidos, menos profundos e com fertilidade natural alta (ALMEIDA, 2011).

Quanto ao nível geral de sensibilização ambiental dos agricultores de Vitorino, cabe ainda abordar, uma vez que este nível de conscientização ambiental está diretamente relacionado ao grau de percepção ambiental do mesmo, seu elevado estado identificado por meio do indicador da importância das práticas de CS (82%). Em contrapartida, mesmo com

este elevado estado de sensibilização, o nível geral do problema de CS também se demonstrou alto, denotando, dessa maneira, que somente a compreensão e sensibilização não foi suficiente para transformá-los em ações mitigadoras.

Normalmente, isso é explicado conforme Siqueira (2008), em razão de que os problemas ambientais são percebidos e interpretados de diferentes maneiras, uma vez que as pessoas encaram os problemas de acordo com as peculiaridades de suas percepções. Tais peculiaridades influenciam a percepção de determinados aspectos do ambiente em detrimento de outros problemas que, de fato, são ameaças imperceptíveis aos órgãos sensoriais.

Ainda para o autor, tanto o processo de mobilização dos atores quanto à conexão das aspirações políticas e coletivas, devem considerar que impactos ambientais são percebidos e interpretados de forma diferente pelas pessoas. Tendo em vista que a percepção individual afeta a forma de encarar os problemas ambientais. Isso significa dizer que a comunidade como um todo pode perceber determinados impactos como sendo muito mais importantes que outros, que seriam, de fato, ameaças reais e, a partir disso, apresentar comportamentos singulares frente a sua postura.

Há sem dúvidas um descompasso eminente ao passo que a relação entre percepção e medidas efetivas de ação e controle sob o problema avaliado são divergentes. Como apresentado historicamente, ocorreu uma insistência governamental preocupada com as questões conservacionistas no estado do Paraná, principalmente à medida que o governo instituiu diretrizes socioambientais, sem que sejam realizadas ações de mobilização dos atores envolvidos. Tais diretrizes devem ser elaboradas, sobretudo ao se avaliar a cultura institucional e a percepção coletiva, para que se adotem estratégias que resultem maior eficácia na implantação das políticas no cenário real e maior efetividade no processo de educação ambiental junto ao público participante.

### 5.3.6 Resumo do Diagnóstico Socioambiental e Proposta de Mitigação

Com base no diagnóstico com o público avaliado na microbacia, foram identificadas as principais inconsistências ambientais conforme quadro 1. A partir destas constatações, as ações a serem propostas devem constituir um processo gradual de mudanças nos agroecossistemas, levando ao desenvolvimento de sistemas de agriculturas mais sustentáveis. Os reflexos das ações extrapolam a questão ambiental, com avanços e ganhos na economia pela maximização da produtividade e na qualidade de vida das famílias rurais.



**Quadro 1: Resumo das principais inconsistências ambientais observadas a partir do diagnóstico socioambiental**

Nível de Ocorrência	Problema Observado	Número de Observações
1	Presença de erosão hídrica, ausência de terraços ou incorretamente dimensionados, sistema de semeadura direta conduzido de forma inadequada, semeadura a favor da pendente, entre outras práticas ambientais inadequadas, resultando em sérios problemas de erosão e qualidade de água;	37
2	Condução de explorações agropecuárias em áreas incompatíveis com a capacidade de uso das terras;	26
3	Redução da infiltração da água no perfil do solo decorrente de sua compactação, acarretando erosão hídrica e redução da disponibilidade de água;	22
4	Falta de mata ciliar em trechos dos rios, sendo estas áreas manejadas com lavouras anuais ou com pastagens.	19
5	Manejo e destinação inadequados dos dejetos animais;	14
6	Existência de instalações (casas, galpões, estábulos, entre outros) em áreas de preservação permanente;	12
7	Falta de conhecimento relacionando práticas agrícolas e suas consequências ambientais e da compreensão entre a ligação íntima entre economicidade e qualidade ambiental;	10
8	Manejo inadequado do solo devido ao uso de máquinas incompatíveis com a geomorfologia das regiões;	8

Fonte: Autoria própria.

O foco das ações deve refletir-se com maior ênfase na produção e proteção da água, em quantidade e qualidade para uso no consumo humano, consumo animal e na produção agropecuária, baseado num sistema de utilização racional e no cuidado de voltá-la ao ambiente com reduzido potencial poluidor após o seu uso.

Nesse aspecto, uma das maneiras viáveis para a minimização do problema é a captação de água de chuva e com melhoria do uso e consumo de água potável, diminuindo

gastos e ainda preservando o meio ambiente. A água captada e armazenada, no meio rural, pode ser utilizada para instalações e na produção.

O diagnóstico apontou que há falta de proteção das nascentes de água com vegetação nativa em fontes usadas. Da mesma forma, identificou-se que há falta de mata ciliar em trechos dos rios, sendo estas áreas manejadas com lavouras anuais e/ou com pastagens, ou ainda, com o uso direto de rios e nascentes para os animais domésticos tomarem. A presença da vegetação influencia positivamente na área de recarga das nascentes e na qualidade da água, sendo fator necessário no processo de melhoria das águas.

Frente a essa situação, os agricultores deverão ser orientados quanto à compatibilização dos sistemas produtivos com a preservação ambiental, bem como serão estimulados a implantar, recuperar e proteger as áreas de preservação permanentes (APPs) e instalação de bebedouro para os animais com condução de água para fora das áreas de preservação permanente.

Referente ao sistema de abastecimento de água para consumo familiar e das instalações, identificou-se que, das nascentes usadas como fonte de água para família e propriedade, 33,3% não possuem as devidas proteções. Ademais, 100% dos casos não realizam nenhum tipo de tratamento da água a ser usada, sendo que verificações de órgão oficial de saúde identificaram problemas com contaminação por coliformes termotolerantes. Diante desse quadro, realizar-se-á a proteção de nascentes com solo-cimento ou tubo de concreto, o tratamento da água para consumo humano e animal com a instalação de clorador, bem como o monitoramento da qualidade da água por intermédio da realização de análise da água.

Referente aos problemas de manejo do solo em locais de maior fragilidade, apesar de mais de 90% dos agricultores indicarem o uso de plantio direto, verificam-se problemas na implementação do plantio direto, em que 46,03% adotam terraceamento e 34,92% fazem uso de adubação verde para incremento de palhada no sistema. Além disso, observa-se que as áreas de lavouras são usadas para pastoreio no período de inverno, com baixo residual de palha para cobertura, comprometendo a viabilidade do Sistema Plantio Direto.

Neste aspecto, os agricultores serão orientados na melhoria do Sistema de Plantio Direto e no Sistema de Integração Lavoura-Pecuária, com ações de manejo e gestão da fertilidade do solo, uso racional de fertilizantes, manejo da palhada, rotação de culturas, plantio em nível, práticas mecânicas em pontos críticos, manejo racional de pastagens e manejo dos animais e de seus dejetos. Com isso, haverá impactos econômicos positivos para

os agricultores pela melhoria do sistema produtivo e impactos ambientais positivos pelo aumento do sequestro de carbono, ciclagem de nutrientes, manejo das águas e destinação adequada dos dejetos animais.

#### 5.4 DIAGNÓSTICO HIDROSEDIMENTOLÓGICO

Nas pesquisas relacionadas aos fenômenos amplamente distribuídos no espaço e no tempo, como é o caso das avaliações aplicadas a bacias hidrográficas, é comum a aplicação de modelos que simulem os fenômenos pertinentes, bem como as interações entre os mesmos. Os modelos aplicados a bacias hidrográficas são capazes de propiciar um melhor entendimento das relações entre o uso do solo e os processos intervenientes sobre a qualidade dos recursos hídricos inseridos na bacia em estudo. Se satisfatoriamente aplicada, a modelagem pode se posicionar como instrumento integrador da complexidade dos sistemas ambientais, sendo capazes de lidar com a dinâmica dos processos naturais (SANTOS, 2010, p. 47).

Porém, é preciso considerar que qualquer processo de modelagem, notoriamente, por sua diversidade de variáveis e interações, carrega consigo um grau de incerteza, com origem nos dados de entrada, nas abstrações do modelo e na heterogeneidade natural das bacias hidrográficas.

##### 5.4.1 Sistematização dos Dados de Entrada

Para gerar as HRUs em cada sub-bacia, um nível de sensibilidade é adotado eliminando as classes de uso da terra com área menor do que o valor arbitrado. O segundo passo controla a criação das HRUs com base na distribuição dos diferentes tipos de solo sobre os usos da terra selecionados. O solo com área menor do que o nível de sensibilidade adotado (para solo), também é eliminado.

Assim, fez-se necessário reclassificar o uso e tipos do solo, adequando estes ao banco de dados existente no programa. Como o banco de dados do SWAT foi criado em relação às culturas empregadas na América do Norte, adotaram-se culturas com características semelhantes às existentes no Brasil, a fim de representar melhor a realidade da Bacia em

estudo. Assim, a reclassificação do uso e ocupação do solo deu-se pela associação das classes, conforme apresentado nas Tabelas 17 e 18 e na figura 15.

**Tabela 17: Uso e ocupação do solo atual da BHRV e associações das classes ao banco de dados do SWAT**

Usos do Solo	Classe SWAT	Área (ha)	%
Solo exposto	RANGE-BRUSH (RNGB)	1473,66	22,44
Vegetação Nativa	FRST	1208,90	18,42
Lavoura/Cultivo	AGRL	2722,02	41,46
Urbanizado	URLD	376,02	5,72
Pastagem	PAST	784,77	11,95
Total		6565.38	100

Fonte: Autoria própria a partir dos mapas.

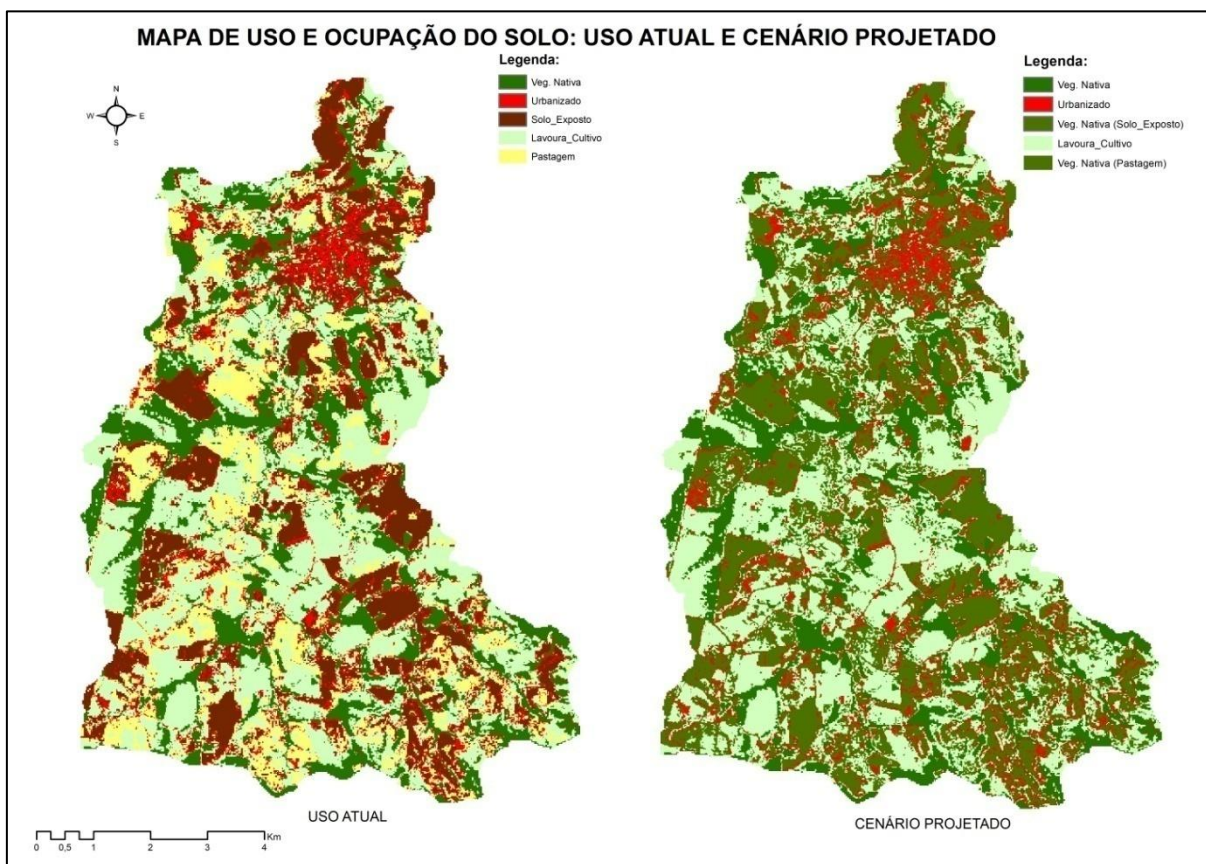
**Tabela 18: Uso e ocupação do solo para o cenário projetado da BHRV e associações das classes ao banco de dados do SWAT**

Usos do Solo	Classe SWAT (Cenário 2)	Área (ha)	%
Solo exposto	FRST	1473,66	
Vegetação Nativa	FRST	1208,90	46,58
Pastagem	FRST	784,77	
Urbanizado	URLD	376,02	5,72
Lavoura/Cultivo	AGRL	2722,02	41,46
Total		6565.38	100

Fonte: Autoria própria a partir dos mapas.

Analisando a Tabela 17 observa-se que o uso predominante da bacia é com lavouras cultivadas anualmente, representado mais de 41% da área total, sendo seguido por solo exposto, que representa em torno de 22% da área. Tal fato explica-se em razão da época que a imagem foi coletada (mês de abril) coincidir como período pós-colheita na região sudoeste do Paraná, encontrando-se grandes áreas desprotegidas. A vegetação nativa presente na BHRV foi diagnosticada em área 18,42%, seguida por áreas de pastagens perenes e urbanização, sendo representadas por 11,95% e 5,72%, respectivamente.

**Figura 15: Mapa de uso e ocupação do solo (atual e cenário projetado)**



Fonte: Autoria própria a partir do processamento

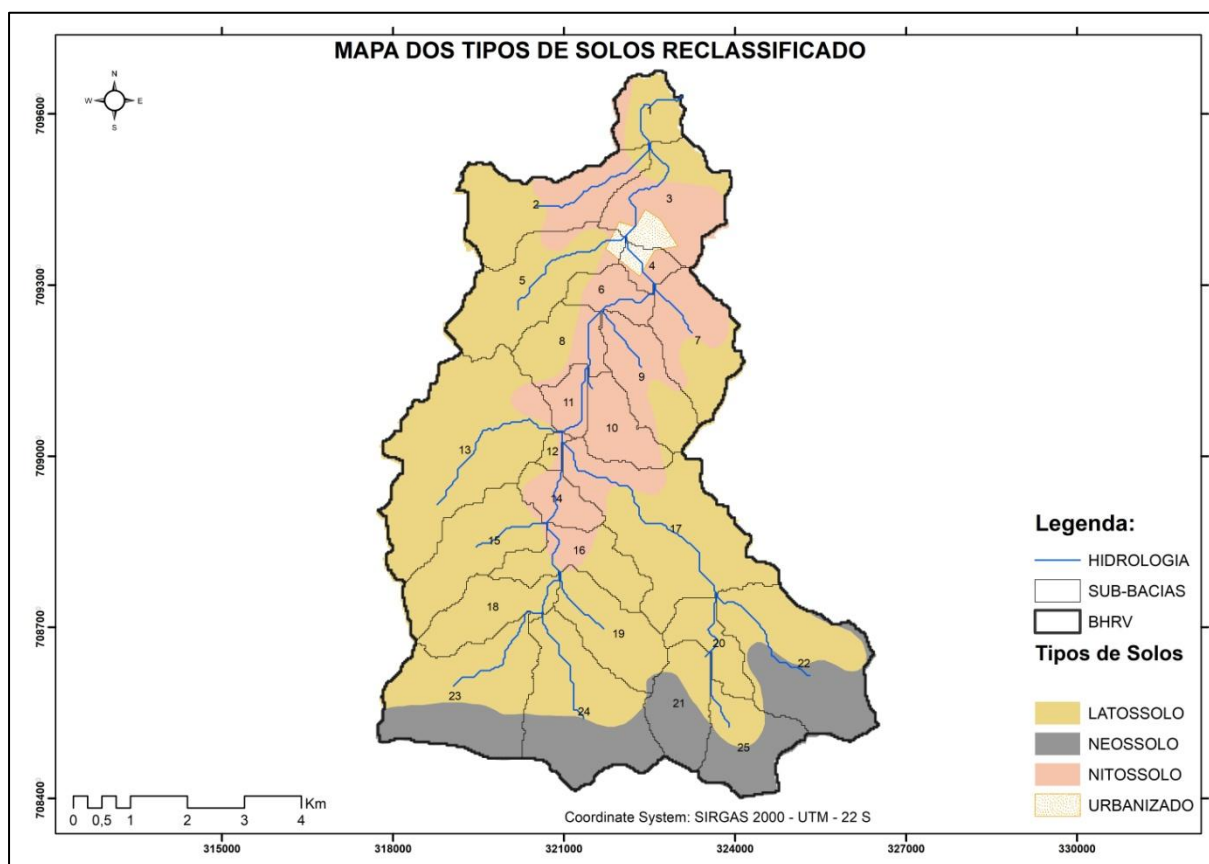
A Tabela 19 e a figura 16 apresentam a associação das classes dos tipos de solo da Bacia Hidrográfica do Rio Vitorino com o banco de dados do SWAT.

Pela Tabela 19 pode-se analisar a área total dos tipos de solo da Bacia Hidrográfica do Rio Vitorino, estando essa dividida em: LATOSSOLO, NEOSSOLO e NITOSSOLO. Como se observa, há predominância de LATOSSOLO, sendo esse representante de, aproximadamente, 57% de toda a área ocupada pela bacia. O NITOSSOLO é o segundo tipo mais abrangente, sendo representado por cerca de 30% da área total ocupada. Já o NEOSSOLO é evidenciado com, aproximadamente, 13,5%, compondo o restante da bacia.

**Tabela 19: Classes dos tipos do solo do banco de dados do SWAT associadas à Bacia do Rio Vitorino e suas respectivas áreas**

Tipos de solo da Bacia do Rio Quatorze	Classe associada no banco de dados do SWAT	Área (ha)	%
LVdf7 - LATOSSOLOS VERMELHOS Distroférricos	LATOSSOLO	3719,57	56,65
LBd1 - LATOSSOLOS BRUNOS Distroférricos	LATOSSOLO		
RRe9 - NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Eutróficos	NEOSSOLO	887,65	13,52
NVdf4 - NITOSSOLO VERMELHO Distroférrico	NITOSSOLO	1958,16	29,83
TOTAL	BHRV	6565,38	100

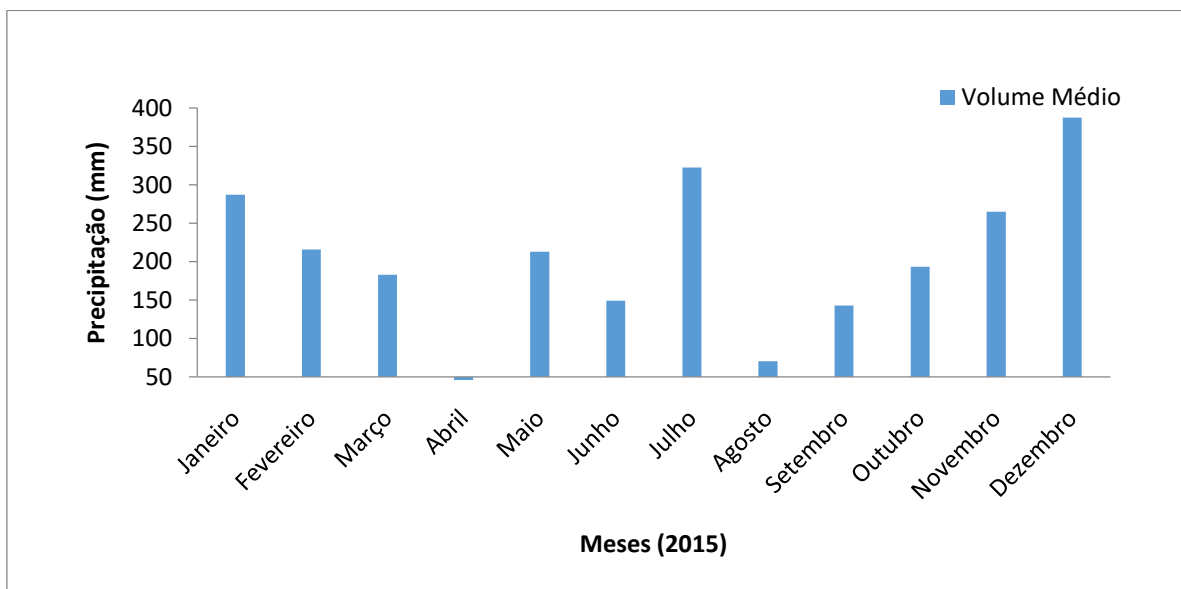
**Figura 16: Mapa reclassificado dos tipos de solo da Bacia hidrográfica do Rio Vitorino**



Fonte: Autoria própria.

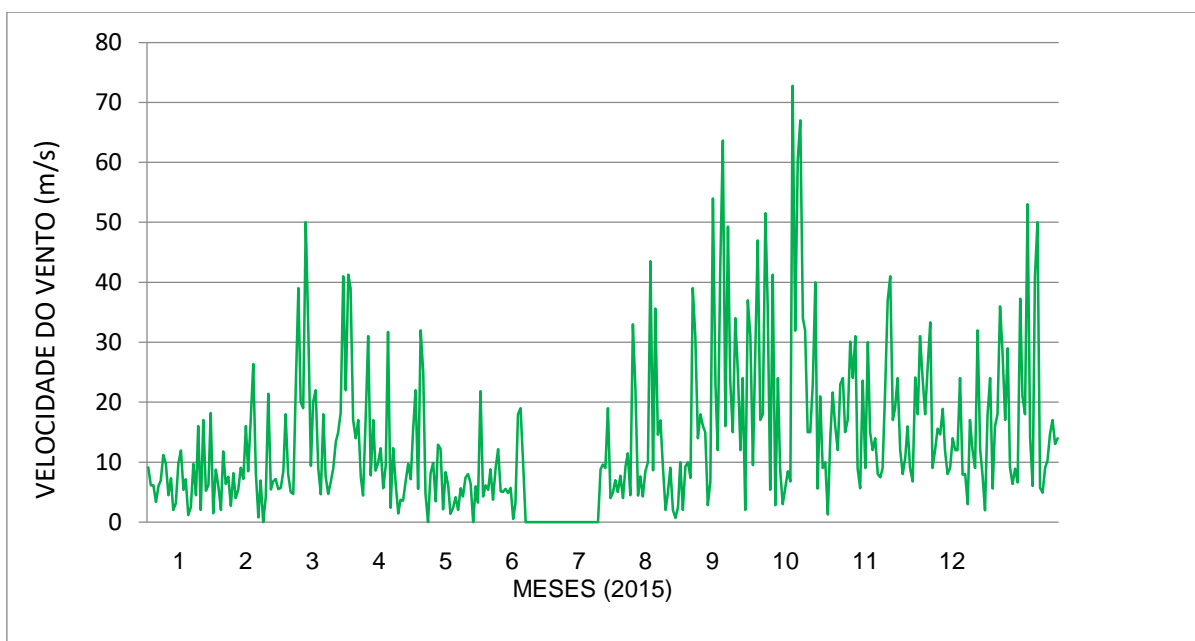
Nos gráficos 6, 7, 8, 9 e 10 estão representados sinteticamente os comportamentos dos dados climáticos inseridos no de temperatura, velocidade do vento, umidade relativa do ar e radiação solar para o período de 01/01/2015 a 31/12/2015, conforme dados do IAPAR/PR.

**Gráfico 6: Série dos dados históricos climáticos - Precipitação Média Mensal**

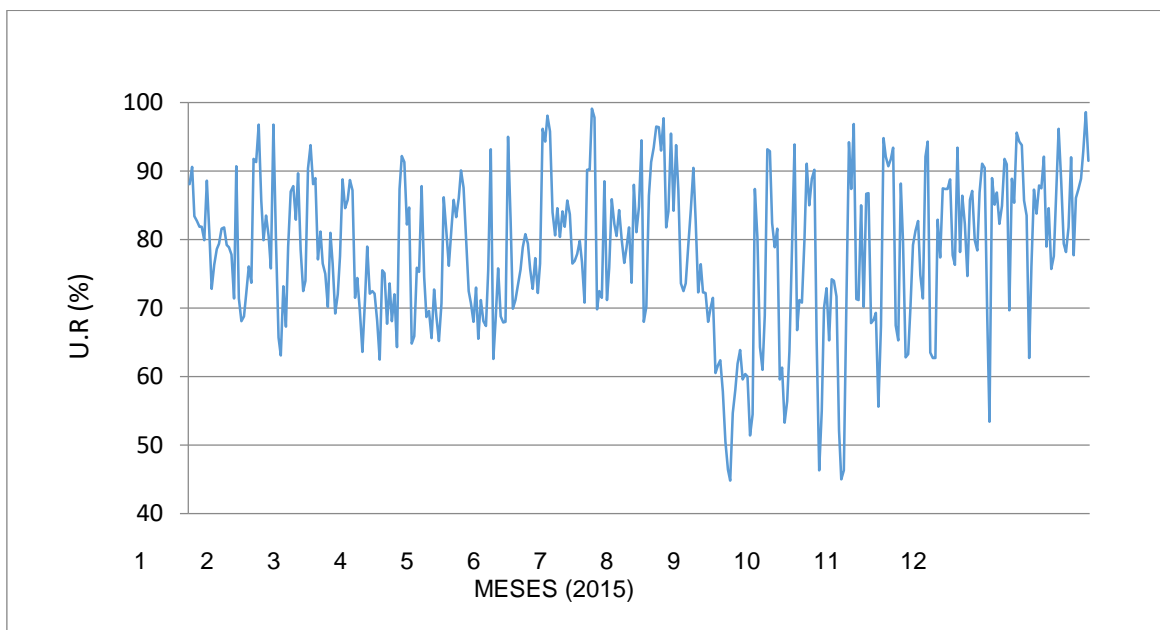


Fonte: IAPAR (2015).

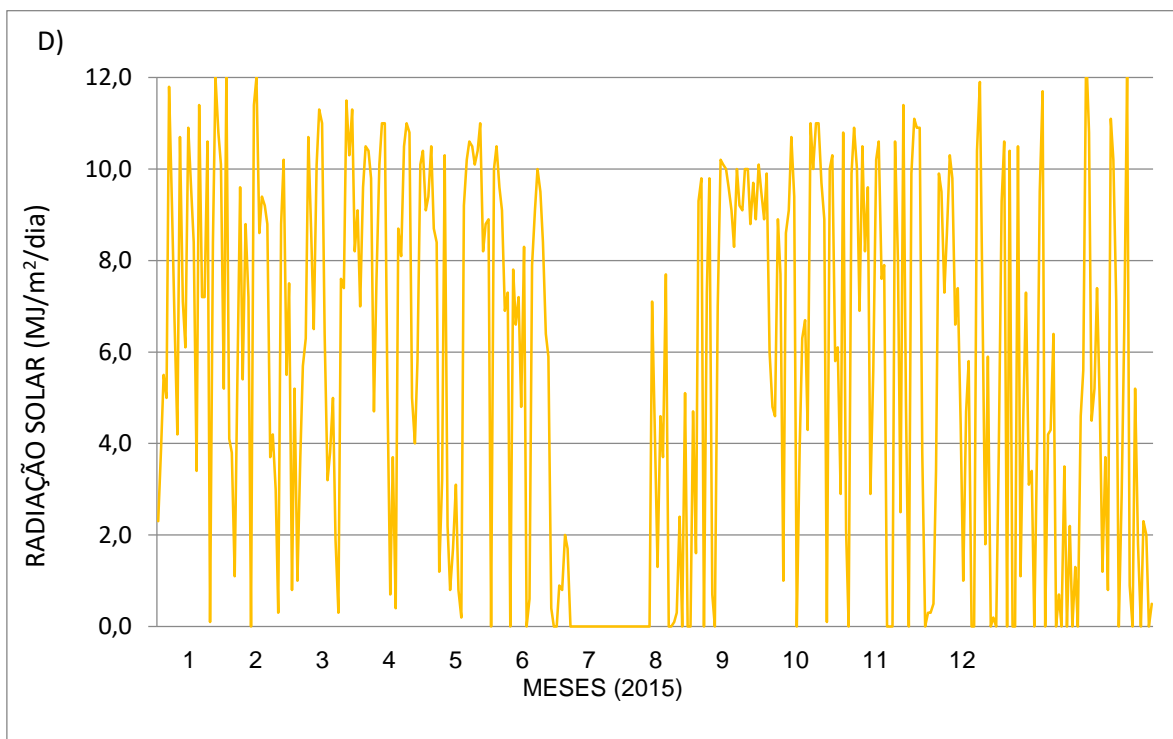
**Gráfico 7: Série dos dados históricos climáticos - Velocidade do vento**



Fonte: IAPAR (2015).

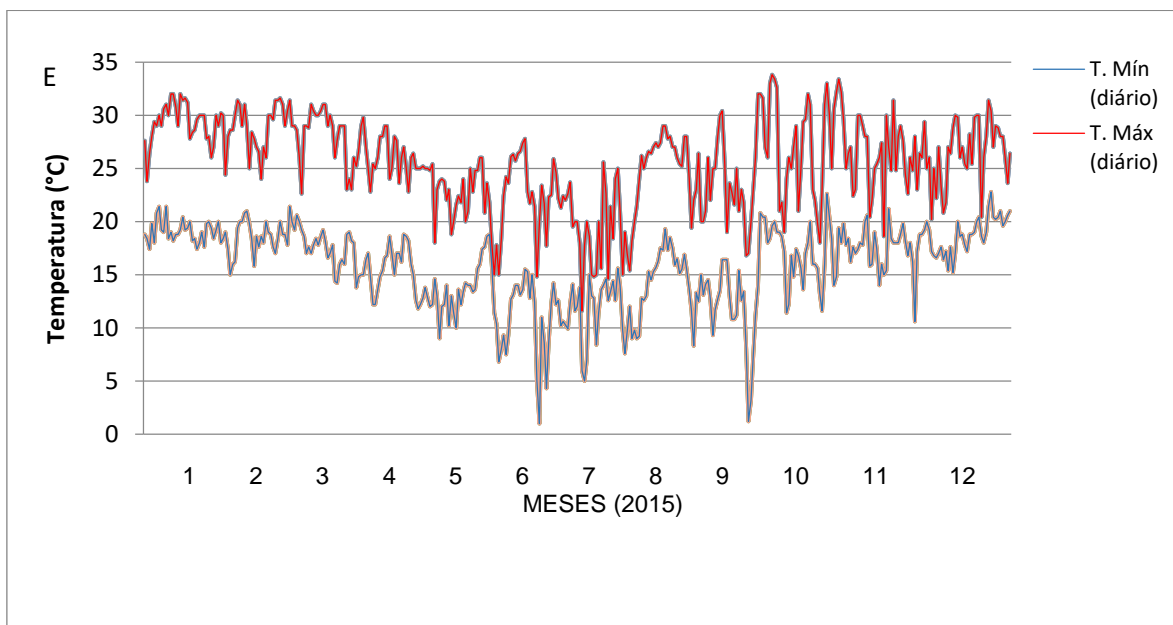
**Gráfico 8: Série dos dados históricos climáticos - Umidade relativa do ar**

Fonte: IAPAR (2015).

**Gráfico 9: Série dos dados históricos climáticos - Radiação solar**

Fonte: IAPAR (2015).



**Gráfico 10: Série dos dados históricos climáticos - Temperaturas Máxima e Mínima**

Fonte: IAPAR (2015).

A Tabela 20 apresenta a distribuição das classes de uso e ocupação do solo, assim como as classes de tipos de solos, segundo a classificação da Embrapa, para cada sub-bacia do Rio Vitorino, simuladas pelo modelo hidrológico SWAT.

Quanto ao uso e ocupação do solo, foram caracterizadas cinco classes predominantes, sendo estas: vegetação nativa, urbanização, solo exposto, lavouras anuais em cultivo e pastagens perenes. Para as sub-bacias 1 e 3, a classe de uso e ocupação do solo que predomina é o solo exposto, compondo 53,68%, 30,87% e 32,89%, respectivamente. As sub-bacias 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 e 25 são ocupadas, em sua grande maioria, pela classe lavouras anuais em cultivo, sendo representadas por 35,88%, 27,93%, 28,24%, 48,87%, 37,15%, 34,26%, 45,88%, 34,28%, 43,20%, 42,93%, 50,27%, 42,05%, 51,92%, 43,27%, 39,13%, 36,63%, 41,55%, 40,17%, e 30,59% respectivamente. Já para a sub-bacia 11, a classe predominante é vegetação nativa, representando 44,17%, enquanto na sub-bacia 12 ocorre a maior ocupação por pastagem perene, assim como na sub-unidade 4 há a predominância de áreas urbanizadas em razão de situar-se na maior porção na cidade de Vitorino, com cerca de 46,31% de sua área.

Para à classificação dos tipos de solo presentes nas sub-unidades, a tipologia identificada com maior frequência foi o LATOSSOLO, representando cerca de 56,65% de toda a Bacia do Rio Vitorino. As sub-unidades que apresentaram predomínio da classe do tipo LATOSSOLO foram: 1, 5, 8, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, e 20. Já a tipologia NITOSSOLO foi

a segunda com maiores composições dentro das sub-bacias, representando cerca de 29,83% de toda a bacia, estratificadas, especificamente, nas unidades 2, 3, 4, 7, 9, 10, 11 e 14. A classe de solo do tipo NEOSSOLO foi encontrada com supremacia nas sub-bacias 21, 23, 24 e 25, representando cerca de 13,52% da bacia total da BHRV.

**Tabela 20: Tipo e uso do solo estratificado para cada sub-bacia do Rio Vitorino**

Sub-bacias	Uso do solo (%)					Tipo de solo
	Veg. Nativo	Urbanizado	Solo_Exposto	Lavoura_Cultivo	Pastagem	
1	13,26	3,53	53,68	18,35	11,16	LATOSSOLO
2	24,75	7,5	16,68	35,88	15,17	NITOSSOLO
3	10,20	27,49	30,87	19,76	11,66	NITOSSOLO
4	13,30	46,31	28,92	9,18	2,27	NITOSSOLO
5	22,85	17,41	16,71	27,93	15,06	LATOSSOLO
6	19,43	19,96	19,80	28,24	12,56	NITOSSOLO
7	20,1	6,38	15,61	48,87	9,04	NITOSSOLO
8	14,65	2,21	18,15	37,15	27,83	LATOSSOLO
9	25,12	5,73	20,40	34,26	14,48	NITOSSOLO
10	27,40	4,59	11,17	45,88	10,94	NITOSSOLO
11	44,17	6,96	9,19	23,70	15,97	NITOSSOLO
12	10,88	2,82	0	41,64	44,84	LATOSSOLO
13	28	4,01	19,54	34,28	14,15	LATOSSOLO
14	10,49	5,55	22,95	43,20	17,79	NITOSSOLO
15	14,39	4,89	24,08	42,93	13,69	LATOSSOLO
16	16,46	7,05	15,03	50,27	11,17	LATOSSOLO
17	17,40	6,58	27,74	42,05	7,21	LATOSSOLO
18	10,08	4,08	9,34	51,92	24,56	LATOSSOLO
19	11,66	8,06	19,65	43,27	17,35	LATOSSOLO
20	19,46	8,34	32,89	28,95	11,25	LATOSSOLO
21	20,60	3,60	23,73	39,13	13,91	NEOSSOLO
22	18,31	3,15	26,79	36,63	15,11	NEOSSOLO
23	13,91	5,90	23,78	41,55	14,84	NEOSSOLO
24	22,18	8,24	9,89	40,17	19,51	NEOSSOLO
25	22,41	5,81	28,07	30,59	13,10	NEOSSOLO

Fonte: Autoria própria.

A análise estratificada desses indicadores e suas interações permitem ponderar uma parte do processamento simulado pelo modelo hidrológico SWAT.

#### 5.4.2 Escoamento Superficial

A sistematização do balanço hídrico processado no modelo hidrológico SWAT baseia-se num conjunto de dados obtidos no campo como precipitação, vazão, evapotranspiração, irradiação solar, entre tantos outros que, associados, são trabalhados de forma integrada no SIG. A priori, este modelo foi construído para dar resposta exclusivamente a questões relacionadas com o escoamento das águas superficiais, bem como quantidade de água disponível e, mais tarde, foi habilitado numa maior proporção abrangendo fenômenos como os citados anteriormente, isso graças às inovações tecnológicas e associação ao SIG.

Um dos principais condicionantes das perdas de solos é o escoamento superficial, responsável pelo transporte das partículas de solo, bem como demais partículas em suspensão.

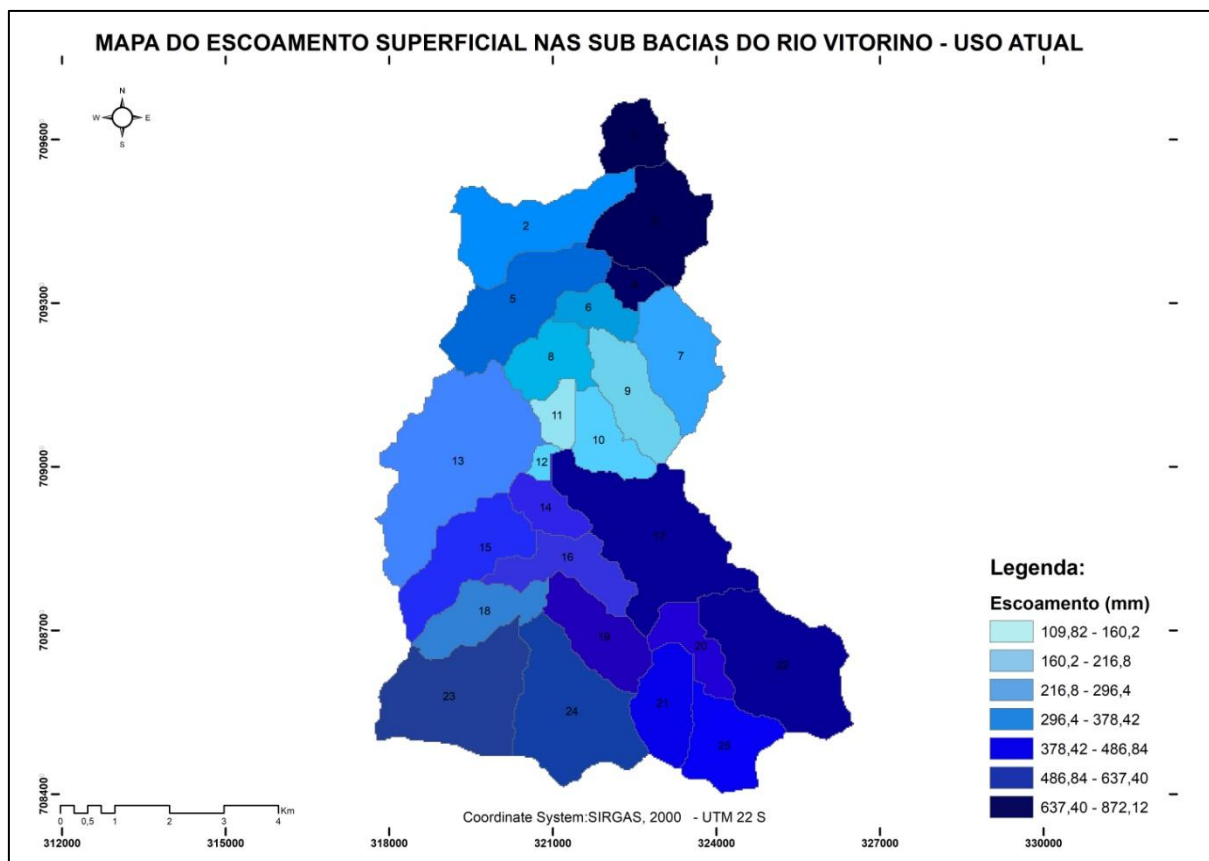
Há de se admitir uma relação direta e linear entre as taxas de escoamento superficiais e a cobertura vegetal. Uma vez dada a precipitação em uma área com cobertura vegetal, uma parte do volume total precipitado é interceptada pela vegetação (dossel) e o restante atinge a superfície do solo. No instante em que a intensidade da precipitação supera a taxa de infiltração da água no solo, a água começa a preencher as depressões existentes em uma superfície e, na sequência, esse excesso forma o escoamento superficial, representado no ciclo hidrológico referente à etapa do deslocamento da água sobre a superfície do solo.

Na figura 17 e tabela 21 são apresentadas as taxas de escoamento superficial simulado pelo modelo SWAT para o ano de 2015 na BHRV.

O escoamento superficial simulado pelo modelo SWAT para a Bacia Hidrográfica do Rio Vitorino variou de 109,82 a 872,12 mm para o período compreendido entre 01/01 e 31/12 do ano de 2015. As sub-bacias que apresentaram maior escoamento superficial foram a 1, 3 e 4, variando de 637,40 a 872,12 mm por ano. A observação dos elevados índices de escoamento superficial para essas sub-unidades deve-se ao fato de que essas sub-bacias são compostas, principalmente, pela associação das classes de usos de solos expostos associados a porções significativas de áreas urbanizadas, uma vez que a própria área urbana do município de Vitorino situa-se nessa região. Soma-se ao apresentado que predomina nessas sub-unidades de maior escoamento superficial os Nitossolos. Os Nitossolos são marcados pela boa aptidão agrícola que apresentam, sendo que, em áreas mais planas, com maior fertilidade natural e maior profundidade, oferecem alto potencial para o uso agrícola, porém, em relevos mais acidentados, apresentam certa restrição para uso agrícola dada pela sua suscetibilidade à

erosão, sendo requerentes de práticas conservacionistas devido à maior vulnerabilidade (SANTOS; ZANONI, 2017).

**Figura 17: Distribuição espacial do escoamento superficial (mm) produzido no ano de 2015 nas sub-bacias do Rio Vitorino**



Fonte: Autoria própria.

A urbanização de determinada superfície leva a sua impermeabilização do solo, o que impede o armazenamento de água no solo, elevando as taxas de escoamento superficiais. Para Tucci (2000), a impermeabilização de 7% de uma superfície já implica na duplicação do escoamento superficial e que, casos mais extremos, como a impermeabilização de 80%, geram um volume de escoamento superficial até oito vezes maior.

As sub-unidades 9, 10, 11 e 12 apresentaram as menores taxas de escoamento, variando de 109,82 a 160,2 mm para o ano de 2015. Nessas, a presença de vegetação nativa elevada (25,12%, 27,40% e 44,17%, respectivamente) associada e menores observações de solo exposto foram condicionantes ao baixo escoamento, corroborando com a ideia que a cobertura vegetal exerce importância decisiva para os processos erosivos. Nestas sub-unidades, a dinâmica erosiva observada é, normalmente, função do manejo das áreas

agrícolas, ou seja, é um fator que pode ser modificado pelos sistemas integrados de conservação de solo e água. Conforme Cook e Doornkamp (1990), a presença da cobertura vegetal reduz significativamente as taxas de erosão do solo, quer seja pela ação protetora contra o impacto da chuva, diminuição da água disponível ao escoamento superficial, decréscimo da velocidade de escoamento superficial e aumento da capacidade de infiltração de água no solo.

Um grupo intermediário de sub-bacias (6, 7 e 8) apresentaram taxas de escoamento superficial entre 216,8 e 296,4 mm/ano. Estas unidades são caracterizadas por porções significativas de vegetação nativa, mas marcadas pela expressividade de áreas agrícolas e extensões significativas de solo exposto. Nesse caso, há de se considerar que a localização das unidades em áreas com menos declives contribui para a caracterização do hidrograma de infiltração e escoamento de água.

As sub-bacias 2, 5, 13, 14, 15, 16, 18, 20, 21 e 25 compõe o maior grupo de indivíduos comuns quanto ao escoamento superficial, variando entre 378,42 a 486,84 mm anuais. A maior parte dessas unidades apresenta áreas relativamente extensas e comuns de lavouras anuais. Dessa maneira o uso pelas atividades agrícolas pode influenciar nas taxas de escoamento, tal qual o manejo que é aplicado nas mesmas. O manejo adotado implica diretamente na alteração da estrutura dos solos, quer seja pela sua melhora quando bem manejado ou por sua desestruturação quando observadas inconsistências. A estrutura dos solos é responsável diretamente pela capacidade maior ou menor de infiltração e, assim, função do escoamento superficial.

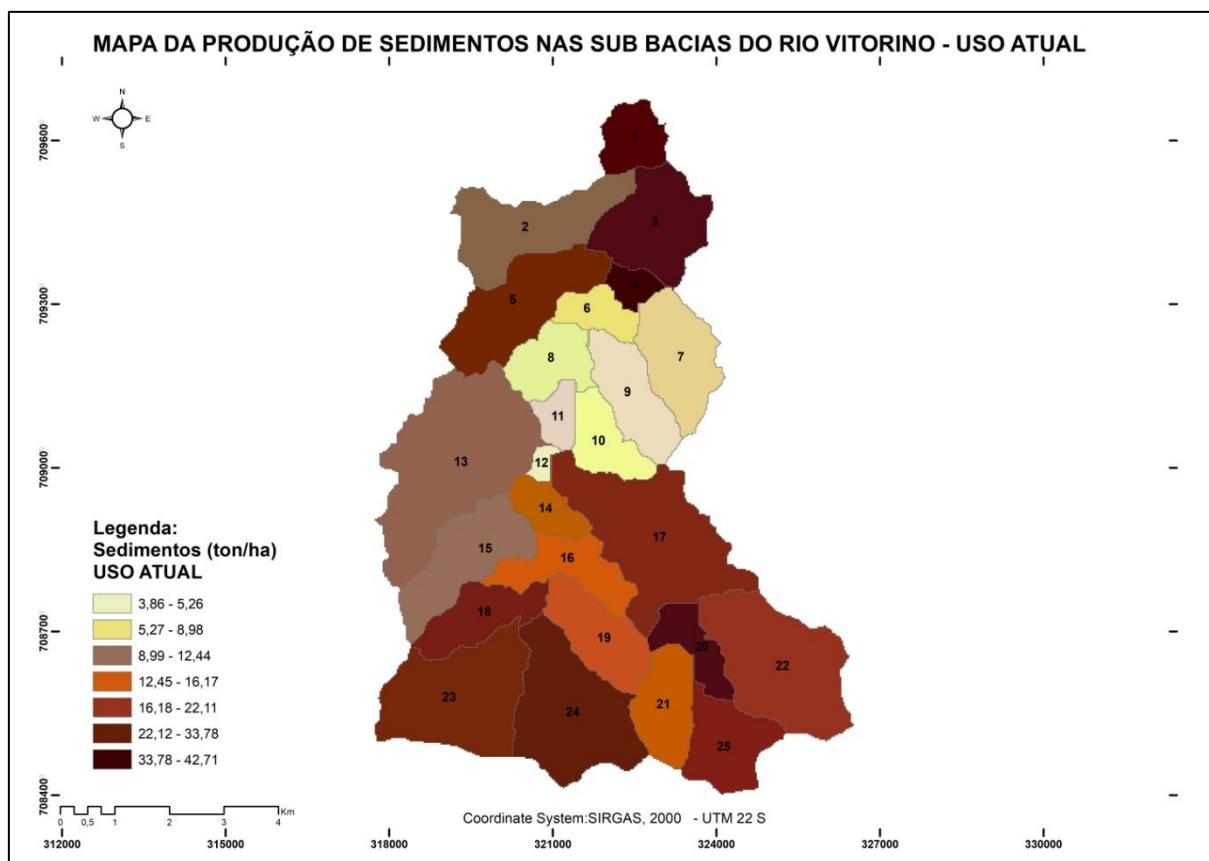
As bacias 17, 19, 22, 23 e 24 perfazem o grupo de segunda maior ocorrência do escoamento superficial, com índices que variam de 486,84 a 637,40 mm/ano. As especificidades comuns destas são diagnósticas por áreas marcadas pelo uso agrícola, formada por porções consideráveis de solo exposto, áreas elevadas dentro da bacia hidrográfica e com solos mais rasos (neossolo). A associação destes fatores é responsável pelas elevadas taxas de escoamento na bacia hidrográfica, denotando-se áreas de maior fragilidade ambiental e, dessa maneira, dependentes de maiores preocupações em seu planejamento conservacionista.

#### 5.4.3 Distribuição Espacial da Produção de Sedimentos

A distribuição espacial da produção de sedimentos anual na BHRV é apresentada na Figura 18 e tabela 21, para o ano de simulação (2015), considerando o uso atual do solo. A

unidade geográfica apresentou uma grande variação na produção de sedimentos inseridos na escala de 3,86 a 42,71 ton/ha.2015-<sup>1</sup>.

**Figura 18: Distribuição espacial dos sedimentos produzidos no ano de 2015 nas sub-bacias do rio Vitorino para uso atual**



Fonte: Autoria própria.

Enquanto os maiores valores de produção de sedimentos ocorreram na maioria das vezes na porção média-alta da microbacia, devido ao relevo ondulado e uso intensivo dos solos com a culturas anuais além desta área ser composta por solos mais frágeis aos processos erosivos como Neossolo e Nitossolo como pode se observar nas unidades 17, 18, 22, 23, 24 e 25 apresentaram variação na produção anual de sedimentos elevados, variando de 22,11 a 33,78 ton/ha/ano. Admite-se contribuir com essa observação além das elevadas altitudes, das características dos solos porções consideráveis de solo exposto e ainda os elevados volumes de escoamento superficiais produzidos. Já na porção média baixa composta na maioria por latossolos associados a menores taxas de escoamento superficiais foram observadas as menores taxas de produção de sedimentos como demonstrado nas unidades 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 variando de 3,86 a 8,98 ton/ha/ano.

As sub-bacias 2, 13 e 15 demonstraram a variação da produção de sedimentos compreendida entre 8,99 e 12,44 ton/ha/ano. Possuem coberturas vegetais com vegetação nativa semelhantes, relevos de média elevação e extensas áreas agrícolas o que associados e observação do escoamento superficial contribuiu para as taxas de sedimentação.

As sub-bacias localizadas na parte média/alta da microbacia também tiveram maiores valores de produção de sedimentos. Nestes limites se inserem as unidades 16, 19 e 21 com a produção de sedimentos variando entre 12,45 e 16,17 ton/ha/ano para o ano de 2015. Isso é provavelmente o resultado da contribuição de vários fatores – processos hidrológicos, erodibilidade do solo e uso da terra, destacando-se que apresentam áreas singulares de uso agrícola, elevações semelhantes e altos índices de escoamento superficial.

As sub-bacias 5 e 14 se caracterizaram por uma produção anual de sedimentos que variou entre 16,18 a 22,11 ton/ha/ano. A unidade 5 apresenta elevado índice de urbanização por situar-se parte na cidade de Vitorino o que contribui para a elevação do escoamento superficial e a produção de sedimentos. Já a unidade 14 apresenta vegetação nativa muito abaixo da media além de consideráveis áreas com solo exposto e culturas anuais.

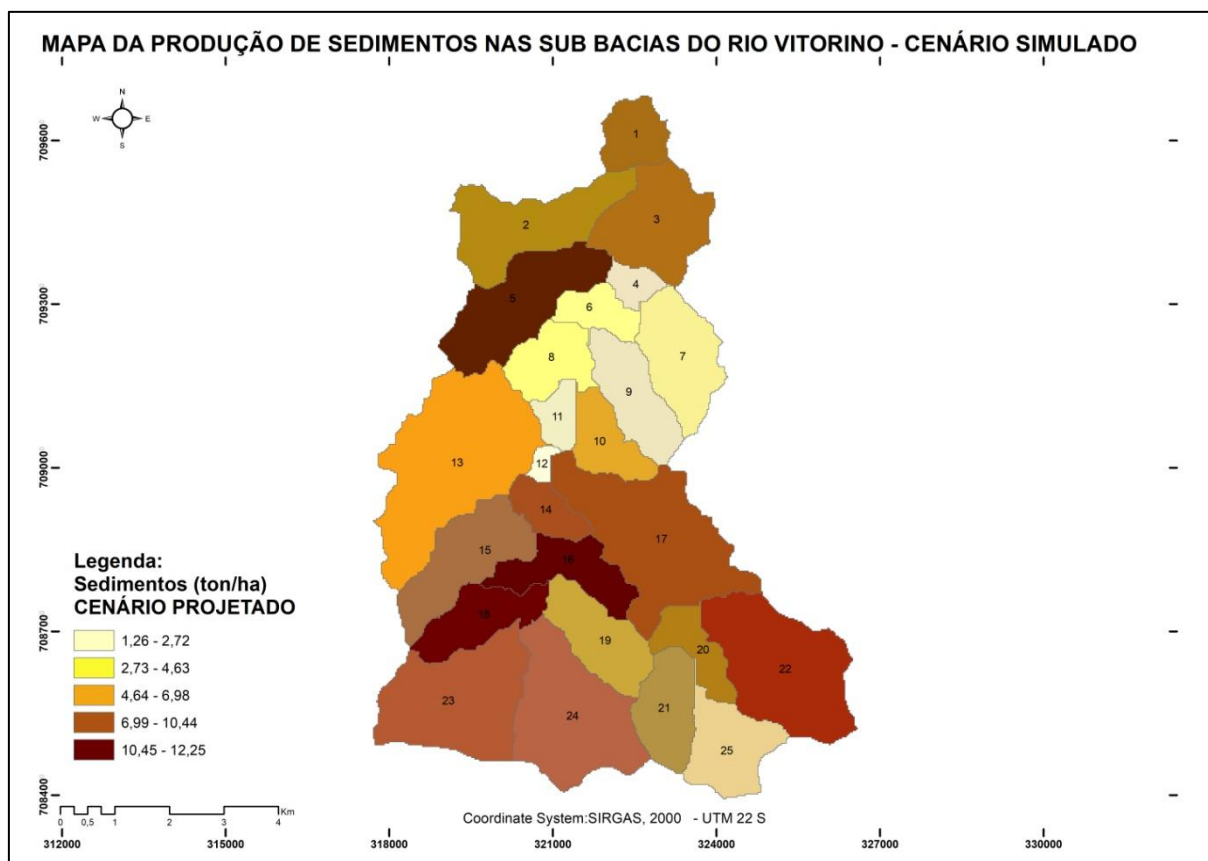
As maiores produções de sedimentos foram encontradas nas sub-bacias 1, 3, 4 e 20. Simultaneamente são regiões mais urbanizadas e com solo exposto da bacia hidrográfica onde foram observados da mesma forma os maiores índices de escoamento superficial e dessa forma taxas de produção de sedimentos variando entre 33,79 a 42,71 ton/ha/ano.

A simulação de cenários indicaram que as variações no uso da terra exercem extrema influência na produção de sedimentos. Nesse estudo, foram modelados os possíveis efeitos da vegetação nativa na produção de sedimentos, substituindo o Plano de Informação contendo áreas de solos exposto e pastagens por vegetação nativa. A qualidade de futuras simulações pode ser melhorada se um completo espectro da maioria das culturas possa ser considerado e a área de estudo possa ser expandida para incluir a totalidade da microbacia. A variação da produção de sedimentos variou de 1,26 a 12,25 ton/ha conforme apresentado na figura. De maneira geral a mudança do uso da terra nas áreas apresentadas por solo exposto diminuiu a exposição dos solos a ação dos processos erosivos, reduzindo significativamente os volumes de sedimentos produzidos em todas as sub bacias.

Constatou-se as maiores alterações principalmente nas sub-bacias que apresentavam maiores percentuais de solo exposto, a exemplo das bacias 1,3 e 4. Dessa forma, pode-se aferir a severa degradação do ambiente que a implantação de culturas anuais com manejos

conservacionistas deficientes pode causar nesta bacia hidrográfica, resultado da exposição e revolvimento do solo, associado à topografia local acidentada.

**Figura 19: Distribuição espacial dos sedimentos produzidos no ano de 2015 nas sub-bacias do rio Vitorino para o cenário projetado**



Fonte: Autoria própria

A utilização do solo demonstrou estar influenciando diretamente os processos hidrossedimentológicos unidade hidrográfica em avaliação, visto que na projeção do cenário que substitui áreas de solo exposto por vegetação nativa a minimização da produção de sedimentos é expressivamente considerável, como demonstrado na média das perdas de solo de 18,72 para 6,45 ton/ha/ano do uso atual para o cenário projetado. A topografia do terreno também apresentou influência sobre a geração de sedimentos, sendo encontrados nas sub-bacias mais planas os menores valores de perdas de solo. A interação entre as características desses dois fatores influenciam na produção de escoamento superficial, o qual se relaciona diretamente com a produção de sedimentos.



**Tabela 21: Quantificação do escoamento superficial (mm), e das perdas de solos (ton/ha) para uso atual e cenário projetado produzido no ano de 2015 nas sub-bacias do Rio Vitorino**

SUB-BACIA	ESC. SUPERFICIAL (mm)	PERDAS DE SOLO (ton/ha)	
		Uso Atual	Cenário Projetado
1	637,40	33,79	4,64
2	378,42	12,44	5,24
3	748,82	35,74	6,98
4	872,12	42,71	2,72
5	408,72	16,18	12,25
6	216,8	8,98	3,84
7	296,40	8,24	2,62
8	232,86	6,78	4,55
9	109,82	5,26	2,27
10	136,46	6,72	6,77
11	142,27	5,29	1,86
12	160,20	3,86	1,26
13	396,62	10,22	5,44
14	416,20	22,11	6,99
15	420,68	8,99	7,22
16	442,62	12,45	10,45
17	621,60	22,11	10,22
18	384,26	23,18	12,04
19	522,46	16,43	6,78
20	447,72	38,78	7,24
21	459,21	14,12	7,02
22	637,40	24,72	11,28
23	521,98	25,61	9,45
24	486,84	29,74	7,29
25	478,82	33,78	5,04
Média	423,08	18,72	6,45

Fonte: Autoria própria

Cabe salientar que, em função das limitações de dados para a inserção no modelo, os resultados devem ser tomados como indicativo ambiental, mas necessitam de validações experimentais para confirmação. No entanto, eles mostraram que o potencial de erosão é variável dentro da sub-bacia hidrográfica, considerando os fatores envolvidos e que são necessárias medidas de caráter preventivo e corretivo para um bom planejamento da ocupação do solo e utilização de práticas conservacionistas, com ênfase para as áreas com maior potencial de perdas de solo. Apesar das restrições de subjetividade de parâmetros e da não calibração, o modelo demonstrou ser relativamente eficaz, permitindo relacionar os dados de topografia, uso e ocupação do solo, tipos de solo, escoamento superficial e produção de sedimentos.

A aplicação do modelo mesmo sem calibração visa apresentar soluções para o gerenciamento de bacias hidrográficas, possibilitando o apoio à tomada de decisão dos órgãos de gestão ambiental com relação ao processo de uso, ocupação e manejo inadequado do solo, reduzindo assim os impactos ambientais sobre os recursos, porém faz-se necessários avaliações complementares a este estudo para quantificar com precisão e acurácia as perdas de solos para cada sub-bacia gerada.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gestão dos recursos naturais sob o ecossistema de bacias hidrográficas se mostrou como uma unidade fundamental de planejamento a fim de propor uma estratégia que visa proteger e restaurar a qualidade ambiental e, conseqüentemente, os ecossistemas naturais.

Os dados obtidos a partir do estudo realizado foram de vital importância para a tomada de decisão em relação a toda e qualquer ação que for tomada na bacia. A partir dos dados morfométricos e dos mapas gerados, é possível realizar estudos mais aprofundados das áreas de preservação e prováveis usos do solo, facilitando o processo de planejamento e gestão de recursos hídricos. É importante ressaltar a necessidade da utilização real de dados morfométricos para uma boa gestão de bacias, visto a relevância da água para a vida global. As variáveis geomorfométricas demonstraram se potencialmente úteis para a elucidação, compreensão e planejamento integrado do uso e ocupação dos espaços da área de estudo. A integração dos aspectos morfométricos e ambientais foram satisfatórias para planejar o uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica.

As tecnologias de geoprocessamento mostraram-se alternativas viáveis, de baixo custo e menor tempo para a obtenção dos dados da bacia em relação aos métodos de levantamentos convencionais. As análises associadas aos ambientes de Sistemas de Informações Geográficas apresentaram-se de elevado potencial na gestão, análise e planejamento ambiental, que permitem que avaliar várias possibilidades, tanto dos aspectos de planejamento da organização sócio-espacial da bacia hidrográfica, bem como da identificação de áreas potenciais. Assim, o uso de Sistemas de Informação Geográfica otimizou a integração dos diferentes planos de informação e mostrou-se eficiente como ferramenta para a avaliação dos riscos de degradação ambiental e para suporte à tomada de decisão de políticas públicas.

Com base na metodologia qualitativa proposta foi identificado um conjunto de indicadores que permitem caracterizar o nível de percepção ambiental dos agricultores, sua influência nos sistemas produtivos, de manejo, uso e conservação do solo (CS). O presente estudo demonstra que os agricultores desta região enfrentam problemas na conservação de suas terras, devido ao modelo de modernização da agricultura, centrado no uso intensivo do solo, não associado ao uso de práticas conservacionistas. Esse problema associado às peculiaridades de solo, clima, relevo aumentam a suscetibilidade dos solos à degradação, diminuindo a sua qualidade, a conservação dos recursos naturais e, conseqüentemente, a

capacidade produtiva do município de Vitorino. Podemos afirmar que um dos fatores preponderantes identificados neste trabalho é a necessidade de se repensar o Sistema de Plantio Direto, pois este apresenta sérios problemas em relação a sua qualidade em função da não adoção de práticas complementares a simples semeadura direta. De maneira geral pode ser observado que os agricultores empregam diferentes práticas, em diferentes intensidades, de acordo com as características naturais de cada solo. Também, com as características alteradas pela ação antrópica, e que apenas o estado de percepção dos indivíduos em relação ao ambiente que os cerca demonstrou-se insuficiente para a alteração de conduta com relação ao problema exposto.

Os resultados da aplicação do modelo hidrológico demonstraram que tanto a vazão, como a perda de solo foram alteradas pelo tipo de uso e ocupação do solo, o que pode ocasionar aumento significativo na erosão do solo em função das características edáficas e topográficas da área estudada. Assim foi possível avaliar a distribuição dos valores das variáveis hidrológicas ao longo de toda a área da bacia, conforme cada área homogênea determinada pelos aspectos físicos analisados, permitindo assim, que a contribuição de cada parcela distinta fosse contabilizada pela dimensão da área que esta representa.

Considerando a escassez de dados e não instrumentação da bacia o modelo SWAT demonstrou potencial de utilização na elaboração de diretrizes de planejamento e desenvolvimento sustentável. Entretanto, para que seja uma ferramenta eficaz se faz necessário o aumento de informações para calibrar o modelo, bem como que os gestores públicos e entes governamentais passem a utilizar a modelagem para planejar as atividades e ações agropecuárias e aos temas sobre os recursos hídricos.

O modelo permite uma grande flexibilidade na configuração de bacias hidrográficas e se destaca por ser uma plataforma livre e de acesso gratuito, admitindo que sejam simulados diferentes processos físicos, ideal para a grande variabilidade de explorações existentes no país. Podendo, desta maneira equacionar e resolver conflitos entre disponibilidade hídrica e demanda pelo uso, visando sua otimização em benefício da sociedade e do meio ambiente. Portanto, pelas suas características o modelo hidrológico SWAT apresenta potencial em servir de ferramenta para essa finalidade, servindo para um melhor planejamento da área e com bases sustentáveis.

Dessa forma, é importante ressaltar que, para que o desenvolvimento sustentável se opere, é necessário que haja uma mudança paradigmática na forma como a sociedade enxerga

o meio ambiente. Acima de qualquer coisa, é imprescindível que ocorra no homem uma reação ética e cultural da ordem de responsabilidade.

## REFERÊNCIAS

- ABRAMOVAY, Ricardo. **Transformações na vida camponesa: o Sudoeste Paranaense**. São Paulo, 1981. Dissertação (mestrado em Ciências Sociais) – USP, São Paulo.
- Adriolo, M.V.; Santos, I. dos; Gibertoni, R.C.; Camargo, A.S.G. de. 2008. Calibração do modelo SWAT para a produção e transporte de sedimentos. In: Simpósio Brasileiro de Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas, 6., Belo Horizonte, 2008. Anais. Belo Horizonte.
- Almeida, J., 2011. Fatores de Formação do Solo. Notas de Aula. Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo. [Online] 04. Disponível: <http://www.gpcs.com.br/aula-04-fatores-de-formacao-do-solo.html>. Acesso: 23 ago. 2017.
- Andrade, M. A., 2011. **Simulação hidrológica numa bacia hidrográfica representativa dos latossolos na região Alto Rio Grande**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 103 p.
- Andrade, M. A.; Mello, C. R. de; Beskow, S., 2013. Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos na região Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, 69-76.
- Antunes, F., 2000. Noções de Mineralogia e Petrografia. Notas de aula cedidas aos alunos do Curso de Engenharia de Produção Civil do CEFET-PR. Rio de Janeiro. 31 p. ARNOLD *et al.*. Large area hydrologic modeling and assessment - Part I: model development.
- Arnold, J. G.; Fohrer, N., 2005. Swat 2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modelling. *Hydrological Processes*, v. 19, 563-572. Arnold, J. G.; Moriasi, D. N.; Gassman, P. W.; Abbaspour, K. C.; White, M. J.; Srinivasan, R.; Santhi, C.; Harmel, R. D.; Van Griensven, A.; Van liew, M. W.; Kannan, N.; Jha, M. K.; 1998. SWAT: Model Use, Calibration, and Validation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers, Transactions of the ASABE*, v. 55, 1491-1508.
- Arroio Junior, P. P.; Kuwajima, J. I.; Mauad, F. F., 2013. Avaliação da produção de sedimentos em uma bacia de pequeno porte por meio do simulador SWAT. In: Simpósio brasileiro de recursos hídricos. Bento Gonçalves / rs. Anais: Bento Gonçalves / RS: ABRH.
- BACK, Á, J. **Bacias Hidrográficas: classificação e caracterização física – com o Programa hidrobacias para cálculos**. Florianópolis: Epagri, 2014, 162 p.
- Baldissiera, G.C., 2005. **Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool), para a bacia hidrográfica do Rio Cuiabá/MT**. Cuiabá. 144p. Dissertação de Mestrado – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso.
- Balim, A. P. C., Mota, L. R., & da Silva, M. B. O. (2014). Complexidade Ambiental: o Repensar da Relação Homem-Natureza e Seus Desafios na Sociedade Contemporânea/Environmental Complexity: the Rethink of Man-Nature Relationship and Its

Challenges in Contemporary Society. *Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável*, 11(21), 163.

Batchelor, P. 1994. Models as metaphors: The role of modeling in pollution prevention. *Water Resources Research*, V.14, 243-251.

Bertol, O. J. Azevedo, M. L.; Bragagnolo, E. A.; Bodnar, A., 2016. *Conservação de Solos e Água*. Curitiba: CREA-PR, Série Cadernos Técnicos de Agenda Parlamentar, 54 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.  
BERTONI, José; NETO, Francisco Lombardi. *Conservação do solo*. 6.ed. São Paulo: Ícone, 2008. 355p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8.ed. São Paulo: Ícone, 2012. 360p.

BONNA, Joyce Luiza. **Mapeamento Pedológico e de Suscetibilidade Erosiva no Alto Córrego Prata (Ouro Preto-MG)**. Dissertação de Mestrado em Geografia na Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011. P.119.

BONUMÁ, Nadia B. *et. al.*. **Simulação da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural no sul do Brasil**. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 32.

BORTOLOTTI, Nadine L. **Avaliação hidrossedimentológica da Bacia do Rio Cunha, município de Rio Dos Cedros, Santa Catarina com o modelo SWAT**. 2011. Paginação irregular. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

BRAVO, Juan M. *et. al.*. **Avaliação visual e numérica da calibração do modelo hidrológico IPH II com fins educacionais**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 17. 20 p. São Paulo: ABRH, 2007. Disponível em: <[http://www.rhama.net/artigos\\_interna.asp?cat=4](http://www.rhama.net/artigos_interna.asp?cat=4)>. Acesso em: 29 jan. 2014.

Bressiani, D. A.; Gassman, P. W.; Fernandes, J. G.; Garbossa, L. H. P.; Srinivasan, R.; Bonuma, N. B.; Mendiondo, E. M., 2015. Review of soil and water assessment tool (SWAT) applications in Brazil: challenges and prospects. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, Beijing, Vol. 8, 1-27.

BRESSIANI, D. A.; GASSMAN, P. W.; FERNANDES, J. G.; GARBOSSA, L. H. P.; SRINIVASAN, R.; BONUMA, N. B.; MENDIONDO, E. M. Review of soil and water assessment tool (SWAT) applications in Brazil: challenges and prospects. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, Beijing, Vol. 8, No. 3, 2015. Disponível em: <<https://ijabe.org/index.php/ijabe/article/download/1765/pdf>>. Acesso em: 03 julho. 2016.

Britto, F. B. et al., 2015. Avaliação do risco de contaminação hídrica por agrotóxicos no perímetro irrigado Betume no Baixo Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v. 9, 158-170.

Brose, M., 2001. Metodologia participativa: uma introdução a 29 instrumentos. TOMO EDITORIAL, Porto Alegre.

Calijuri, M. L.; Meira, A. D.; Pruski, F. F., 1998. Geoprocessamento aplicado aos recursos hídricos. Congresso brasileiro de engenharia agrícola, Poços de Caldas. Anais... Lavras: Universidade Federal de Lavras. p. 167- 225.

CARVALHO NETO, J. G.; SRINIVASAN, V.S.; RUFINO, I. A. A. Aplicação do modelo SWAT para estudo de cenários hipotéticos na bacia hidrográfica do Riacho dos Namorados no Cariri Paraibano. Revista Geografia Acadêmica. v.5, n.2, p.30-40, 2011.

GIL, Antonio C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6º Edição. São Paulo: Atlas, 2008.

Calijuri, M. L.; Meira, A. D.; Pruski, F. F., 1998. Geoprocessamento aplicado aos recursos hídricos. Congresso brasileiro de engenharia agrícola, Poços de Caldas. Anais... Lavras: Universidade Federal de Lavras. p. 167- 225.

CAETANO, C. A. R.; Pacheco (2008). Modelação **de escoamentos fluviais na região de Trás-os-Montes e Alto Douro utilizando o modelo SWAT**. In CD-Rom das Actas do V Seminário dos Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território (150-156 p). ISBN 978-972-669-890-6

Caporal, F. R.; Costabeber, J. A., 2000. Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável: perspectivas para uma nova extensão rural. Agroecologia e Desenvolvimento. Rural Sustentável, Porto Alegre, v. 1,16-37.

CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia prática**. 2.ed. Rio de Janeiro:

CORONA, H. M. P. **Resistência inovadora: a pluriatividade no sudoeste paranaense**. Curitiba: UFPR, 1999. 231p. (Dissertação de Mestrado em Sociologia). Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 11 nov. 2013. Easton, Z. M.; Fuka, D. R.; Walter, T.; Cowan, D. M.; Schneiderman, E. M.; Steenhuis, T. S., 2008. Re-conceptualizing the soil and water assessment tool (SWAT) model to predict runoff from variable source areas. Journal of Hydrology.

EASTON, Z.M., Fuka, D.R., Walter, M.T., Cowan, D.M., Schneiderman, E.M., Steenhuis, T.S., 2008. “Re-conceptualizing the soil and water assessment tool (SWAT) model to predict runoff from variable source areas”. Journal of Hydrology, 348 (2008), pp. 279–291

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2008. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2014. Brasil em Relevo - Embrapa Monitoramento por Satélite. Brasília.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Sistema Brasileiro de classificação de solos. 2ª ed. Brasília: EMBRAPA, 2006. ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). ArcGIS for Desktop, versão. 10.4. Redlands:ESRI, 2016. FRYE, C. Setting the z fator parameter correctly. Redlands: ESRI,



2007. Disponível em: . Acesso em: 22 jun. 2016. GRANELL-PÉREZ, M. Del C. *Trabalhar geografia com as cartas topográficas*. Ijuí: Ed. Unijuí, 2004, 128 p.

Farias, G.S., 2010. História da ciência do solo no Paraná: Uma cronologia de fatos relevantes. *B. Inf. SBCS*, 35. 28-31.

Fernandes, J. G.; Galvíncio, J. D.; Freire, M. B. G. dos S. 2012. O Modelo SWAT e suas Possibilidades de Aplicações em APL Agrícolas. **Revista Brasileira de Geografia Física**. 115-126.

GIDDENS, A. **Modernidade e Identidade**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2002.

GIDDENS, Antony. **As consequências da modernidade**. São Paulo: Editora da UNESP, 1991.

Grün, M., 2002. Ética e educação ambiental: A conexão necessária. 5. ed. PAPIRUS, Campinas.

Guerra, A. T., 1993. *Dicionário geológico-morfológico*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 446 p.

GRUNWALD, S.; FREDE, H. G. **Using the modified agricultural non-point source pollution model in German watersheds**. *Catena*, v.37, p.319-328, 1999.

IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná, 2016. Médias Históricas em Estações do IAPAR. Pato Branco. IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. 2012. Médias Históricas em Estações do IAPAR. Disponível:<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1070>. Acesso em 01 nov. 2017.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Dados de satélites**: catálogo de imagens. Interciência, 2008. 599p.

IPARDES. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social, 2004. *Leituras Regionais, Mesorregião Geográfica Sudoeste Paranaense*. Curitiba.

JOHNSON, R. Burke; ONWUEGBUZIE, Anthony J. **Mixed methods research**: A research paradigm whose time has come. *Educational researcher*, v. 33, n. 7, p. 14-26, 2004.

*Journal of the American water resources association*. Texas, v.34, n.1, p. 73-89, fev. 1998.  
Junqueira, C. de A. R; Silva, R. S. da. 2008. Avaliação ambiental aplicável a bacias hidrográficas no meio urbano: análise dos métodos AMORIM & CORDEIRO, PESMU e SWAT. **Revista de estudos ambientais** v.10, n. 2, p. 6-23.

Kuwajima, J. I., 2012. **Análise do modelo SWAT como ferramenta de prevenção e estimativa de assoreamento no reservatório do Lobo (Itirapina/Brotas/SP)**. 158 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

LEFF, E. **Epistemologia ambiental**. Tradução: Sandra Valenzuela. Revisão técnica: Paulo Freire Vieira. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

Leff, E., 2009. *Saber ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade e poder*. 7.ed. VOZES, Petrópolis.

LEFF, Enrique. 2001. **Saber ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder**. Petrópolis: Vozes.

LEFF, Enrique. **Ecologia, Capital e Cultura: a territorialização da racionalidade ambiental**. Petrópolis: Vozes, 2009

Lelis, T. A., 2011. Modelagem do escoamento superficial e perda de solo na bacia do Ribeirão São Bartolomeu, zona da mata de Minas Gerais, utilizando o simulador SWAT. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

LEPSCH, I.F. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas:

LEPSCH, Igo Fernando. **Formação e conservação dos solos**. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 216p.

LINO, João F. de L. **Análise da dinâmica hidrossedimentológica da Bacia Hidrográfica do Rio Preto (SC) com o modelo SWAT**. 2009. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

Lopes, N. H. Y., 2008. **Análise da produção de água e sedimentos em microbacias experimentais com o modelo SWAT**. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Lou, R. F. 2010. Modelagem Hidrológica Chuva-vazão e Hidrodinâmica Aplicada na Bacia Experimental do Rio Piabanha/RJ. 174 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFRJ/COPPE.

MAACK, Reinhardt. (1968). **Geografia física do Estado do Paraná**. 2ª ed. Rio de Janeiro: J. Olympio, 1981. 450 p.

Machado, C. A., 2013. Modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio siriri-SE. Dissertação (Mestrado em desenvolvimento e meio ambiente) – Universidade Federal de Sergipe. 104 p.

Marchioro, E., 2008. Modelagem hidrossedimentológica na bacia do córrego Santa Maria: Subsídios à Aplicação de Práticas de Conservação de Água e Solo no Noroeste Fluminense. 218 p. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro.

MARCHIORO, Eberval. **Modelagem hidrossedimentológica na bacia do córrego Santa Maria: subsídios à aplicação de práticas de conservação de água e solo no noroeste Fluminense**. 2008. 196 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Marques neto, R.; Gonçalves, F. da S.; Conceição, R. M. da; Fernandes, F. da S. Vieira, J. R. M. Simas, N. G., 2008. Morfometria do relevo na bacia do rio da cachoeira no contexto do plano de manejo da floresta nacional de passa quatro (MG). *RA E GA*, 16, 119-128.

MATTEI, Lauro. O Papel e a Importância da Agricultura Familiar no Desenvolvimento Rural Brasileiro Contemporâneo. *Revista Econômica do Nordeste*, n° esp., p. 2014.

Medeiros, I. C.; Xavier, A. P. C.; Silva, A. M.; Santos, C. A. G.; Silva, R. M. 2013. Simulação da produção de sedimentos utilizando dados de entrada de alta resolução espacial no modelo SWAT. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves-RS, Anais.

Merten, G. H.; Nearing, M. A.; Borges, A. O., 2001. Effect of Sediment Load on Soil Detachment and Deposition in Rills. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65, 861 – 868.

Naime, J. de M, 2008. A importância da conservação do solo para a sustentabilidade humana. *Embrapa Instrumentação Agropecuária*. Pelotas.

Navarro, Z., 2001. Desenvolvimento rural no Brasil: os limites do passado e os caminhos do futuro. *Estudos Avançados*, v.15, 01 - 18.

NAVARRO, Zander. **Desenvolvimento rural no Brasil**: os limites do passado e os caminhos do futuro. *Estudos Avançados*, São Paulo, n. 43, v.15, Set./Dez. 2001.

Neitsch, S. L. et al., 2002. Soil and water assessment tool: Theoretical documentation version 2000. Temple: Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 498 p.

NEITSCH, S. L. *et. al.*. **Soil and Water Assessment Tool**: theoretical documentation. Texas, 2002. 506 p.

Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J. R., 2005. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2005. Grassland, Soil and Water Research Laboratory; Agricultural Research Service; USA.

NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J.G.; WILLIAMS, J.R. **Soil and water assessment tool - User's Manual**: Version 2000. Temple: Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 2000. 458p.

Oliveira, L. de., 1997. Contribuições dos estudos Cognitivos à Percepção Geográfica. **Revista de geografia**. USP. V. 3, 61-72.

Oliveira, L.T., 2014. **Aplicação do modelo SWAT para simular vazões em uma bacia hidrográfica em Aracruz, ES**. 162 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo. paginado. Fortaleza, 2009. Disponível em: <[http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=25&Itemid=41](http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=25&Itemid=41)>. Acesso em: 24 jan. 2014.

\_\_\_\_\_**Dispõe sobre a preservação do solo agrícola e adota outras providências**. PARANÁ, 1984. Lei Estadual n° 8.014, de 14 de dezembro. Disponível em: <

[http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/lei\\_preserv\\_solo.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/lei_preserv_solo.pdf)> Acesso em 10 jul. 2017.

Pelizzoli, M. L., 1999. A emergência do paradigma ecológico: Reflexões ético-filosóficas para o séc. XXI. 2 ed. VOZES, Petrópolis.

Perazzoli, M; Pinheiro, A; Kaufmann, V., 2013. Efeitos de cenários de uso do solo sobre o regime hídrico e produção de sedimentos na bacia do Ribeirão Concórdia - SC. Revista *Árvore*, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 859-869.

Pessoa, M.C.P.Y.; Luchiari, A.J.; Fernandes, E.N.; Lima, M.A., 1997. Principais modelos matemáticos e simuladores utilizados para análise de impactos ambientais das atividades agrícolas, Jaguariúna, Embrapa/CNPMA, p.83.

Pruski, F. F.; Brandão, V. dos S. Silva, D. D. da., 2004. *Escoamento Superficial*. 2 ed. UFV, Viçosa.

Rennó, C. D. Soares, J. V. 2008. *Conceitos básicos de modelagem hidrológica*. INPE, Santa Maria.

RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. *Inf. Agropec.*, 11:3-18, 1985.

RICHARDSON, Roberto J. **Pesquisa Social: Métodos e Técnicas**. 3º Edição. São Paulo: Atlas, 2008.

Ruhoff, A. L. **Gerenciamento de recursos hídricos em bacias hidrográficas: Modelagem ambiental com a simulação de cenários preservacionistas**, 2004. 105 pg. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria: UFSM. RS .

SACHS, Ignacy. Estratégias de transição para o século XXI. In:RAYNAULT, Claude; ZANONI, Magda. **Cadernos de Desenvolvimento e Meio Ambiente: sociedades, desenvolvimento, meio ambiente**. n. 1, p. 15-95, 1994.

Salles, L. de A. **Calibração e validação do modelo Swat para a predição de vazões na Bacia do Ribeirão Pípiripau**. 2012. xv, 114 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)—Universidade de Brasília, Brasília.

SALOMÃO, F.X.T.(1994). **Processos erosivos lineares em Bauru (SP): regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural**. São Paulo, 200p. Tese de Doutorado FFLCH-USP. Departamento de Geografia.

Santana, L. L., 2015. **Efeitos da variabilidade de cenários de uso do solo sobre a dinâmica da vazão e de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Jacaré – SE**, 2015. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, SE. 137 p.

SANTOS, Milton. **A Urbanização Brasileira**. 5ª Edição. 1ª Reimpressão. São Paulo, Edusp, 2008.

Santos, R. F., 2004. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos. 184 p.

Santos, R. O. **Avaliação da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Potengi através do modelo SWAT**. 2010. 187 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN.

SANTOS, Roseli Alves dos. **O processo de modernização da agricultura no Sudoeste do Paraná**. (tese de doutorado). Programa de Pós graduação em Geografia. UNESP, Presidente Prudente, 2008.

SEAB. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná, 2015. Manual operativo do projeto: documento do programa de gestão de solo e água em microbacias. Curitiba.

Siqueira, L., 2008. Política ambiental para quem?. *Ambiente e Sociedade*. v. 11, 425-437.

Siqueira, M. S.; Alcantara, H. M., 2015. Estimativa da produção de sedimentos em pequenas bacias não instrumentadas no semiárido usando o modelo SWAT. In: II Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC 2015, Fortaleza. Sustentabilidade; água, energia e inovação tecnológica.

Silva. Vanessa Cecilia Benavides. **Tutorial para Mapa de Susceptibilidade Erosiva no ArcGIS**. São Paulo, 2014.

Souza, R. M.; Santos, I.; Kobiyama, M. O Modelo Swat Como Ferramenta para a Gestão de Recursos Hídricos: Avaliação de Vazões de Outorga Na Bacia Hidrográfica do Altíssimo Rio Negro. 2009. In: Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande – MS.

STÜRMER, SLC. Infiltração de água em Neossolos Regolíticos do rebordo do Planalto do Rio Grande do Sul. **Santa Maria, Universidade de Santa Maria**, v. 105, 2008.

Tim, U. S.; 1996. Emerging Technologies for Hydrologic and Water Quality Modeling Research. *Water Resources Bulletin*, v.39, n.5, p. 877-887.

TIM, U. S.; Emerging Technologies for Hydrologic and Water Quality Modeling Research. *Water Resources Bulletin*, v.39, n.5, p. 877-887, 1996. TUCCI, C. E. M. Modelos hidrológicos. 2. ed. Porto Alegre: ABRH: Editora UFRGS, 2005.

Tucci, C. E. M. 2005. Modelos hidrológicos. 2. ed. Porto Alegre: ABRH: Editora UFRGS.

Uzeika, T. 2012. Use of the SWAT model for hydro-sedimentologic simulation in a small rural watershed. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 557-565.

UZEIKA, Talita. **Aplicabilidade do modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) na simulação da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural**. 2009. 132 f. Dissertação (Mestrado em recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de pesquisas hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

VALERIANO, M. M. Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. INPE: São José dos Campos, 2008. (INPE-15318-RPQ/818).

Viola, M. R.; Mello, C. R.; Acerbi Junior, F. W.; Silva, A. M. 2009. Modelagem hidrológica na bacia hidrográfica do Rio Aiuruoca, MG. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 13, 581-590.

VITORINO, **Programa de Gestão de Solo e Água em Bacias Hidrográficas**. Secretaria Municipal de Agricultura. 2014. Dados de Pesquisa de Campo.

WACHOWICZ, R C.; 1977. História do Paraná. 4ª ed. Curitiba: Editora Gráfica Vicentina Ltda. 185 pp.

WINCHELL, M. *et. al.*. **ArcSWAT interface for SWAT2012: user's guide**. Texas, 2013. 459 p.

ZAGO, L.; BERTOL, J.J.; **Vitorino: Uma Historia Feita de Lembranças**. Imprepel, 2003.

ZANONI, Magda. **Cadernos de Desenvolvimento e Meio Ambiente: sociedades, desenvolvimento, meio ambiente**. n. 1, p. 15-95, 1994.

## APÊNDICES

### Apêndices 1: Ficha de campo para diagnóstico sócioambiental



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - UTFPR  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL  
CAMPUS PATO BRANCO

FICHA DE CAMPO PARA DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL					MESTRANDO: MARCIANO VOTTRI		
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VITORINO PR					ORIENTADOR: JULIO C. TOMAZONI		
GEOPROCESSAMENTO INTEGRADO A MODELAGEM HIDROLÓGICA PARA O DIAGNÓSTICO AMBIENTAL E A QUANTIFICAÇÃO DE CENÁRIOS DE USO E PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VITORINO PR							
INFORMACOES DA PROPRIEDADE							
IDENTIFICACAO				CPF		DATA	
ENDEREÇO				FONE			
ÁREA (há):	PRÓPRIA		OUTROS		TOTAL	_____ ha CEDIDA _____	
CONDICAO DE USO DAS TERRAS (X)				CLASSIFICACAO DO PRODUTOR (X)			
	PROPRIETARIO		ASSENTADO		AGRICULTOR FAMILIAR		
	ARRENDATÁRIO		MEEIRO		AGRICULTOR PATRONAL		
	COMODATÁRIO		USO COLETIVO		AGRICULTOR PERIURBANO		
	POSSEIRO		OUTROS		TRABALHADOR RURAL		
					OUTROS _____		
USO DO SOLO (SISTEMAS DE CULTIVO)							
CULTURAS PERMANENTES	ha	CULT./ PASTAGENS ANUAIS		ha	TOTAIS	ha	
FRUTICULTURA		<u>VERAO</u>			CULT. PERMANENTE		
CANA DE AÇÚCAR		SOJA			PAST, PERMANENTE		
REFLOREST. EXÓTICAS		MILHO			LAVOURAS ANUAIS		
REFLOREST. NATIVAS		FEIJAO			OUTRAS ÁREAS		
ERVA MATE		MILHETO/SORGO/SILAGEM			NATIVO (APP +RL)		
OUTROS		OLERICOLAS			SEDE E ESTRADAS		
PASTAGENS PERMANENTES		OUTROS			POUSIO		
CAMPOS / POTREIRO		<u>INVERNO</u>			INAPROVEITÁVEIS		
CULTIVADO		AVEIA/AZEVEM			OUTROS		
IRRIGADO		TRIGO/CEVADA					
OUTROS		OUTROS			<b>TOTAL</b>		
PECUÁRIA (CRIAÇÕES)							
CATEGORIA	QTDADE	FINALIDADE (X)		DESTINO DEJETOS (X)		PSICULTURA	
		PROP.	COMERC.	ESTERQ.	CÉU ABER.	TANQUES (UNID)	
BOVINO CORTE						ÁREA (M2)	
BOVINO LEITE						PRODUCAO (KG/ANO)	
SUÍNOS							
AVES							
OVINOS E CAPRINOS							
MUARES							
						OBS:	
MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS					RENDAS NÃO AGROPECUÁRIAS (X)		
TIPO	NÃO USA	PRÓPRIA	ASSOCIAC	ALUGADA	PREFEIT.	( ) APOSENTADORIA/PENSAO	( ) ARRENDAMENTO
TRATOR						( ) DIARISTA RURAL/URBANO	( ) DOMÉSTICA
PULVERIZ.						( ) COMÉRCIO/SERVIÇOS	( ) ALUGUEL
PLANTAD.						( ) AGROINDUSTRIAS	( ) OUTROS
ENSILAD.						( ) PROFISSIONAL LIBERAL	
COLHEITAD.						( ) POUPANCAS/RENDIMENTOS	





FICHA DE CAMPO PARA DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL					MESTRANDO: MARCIANO VOTTRI			
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VITORINO PR					ORIENTADOR: JULIO C. TOMAZONI			
GEOPROCESSAMENTO INTEGRADO A MODELAGEM HIDROLÓGICA PARA O DIAGNÓSTICO AMBIENTAL E A QUANTIFICAÇÃO DE CENÁRIOS DE USO E PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VITORINO PR								
USO E MANEJO DAS ÁGUAS								
ORIGEM DA AGUA	USOS (MARCAR COM X)				TIPO DE PROTECAO		TIPO DE TAMPA	
	DOMEST	ANIMAIS	ISTALAC.	PULVERIZ.	NUMERO	DESCRICAO	NUMERO	DESCRICAO
REDE PUBL.								
REDE LOCAL								
FONTE/NASC								
POÇO IND.								
POÇO COLE.								
RIO/CORREG								
AÇUDE								
OUTROS								
ESTIMATIVA DE PROTECAO DAS APPs								
CORRÉGOS E RIOS EXISTENTES NA PROPRIEDADE						_____ metros		
LARGURA MÉDIA PRESERVADA						_____ metros		
MATA CILIAR EM TORNO DAS NASCENTES						_____ metros		
AGUA FICA TURVA COM CHUVAS						_____ dias		
DESTINO DEJETOS								
DEJETOS BANHEIRO		DEJETOS COZINHA/LAVANDERIA		OBSERVACOES				
NUMERO	DESCRICAO	NUMERO	DESCRICAO					
EM CASO DO USO DE NASCENTE OU FONTE RESPONDER:								
NUMERO DE FAMILIAS ATENDIDAS	<input type="text"/>							
NUMERO DE FONTES UTILIZADAS	<input type="text"/>							
DIMINIU VAZAO COM A ESTIAGEM (SIM/NÃO)	<input type="text"/>							
APÓS QUANTOS DIAS DE ESTIAGEM	<input type="text"/>							
<b>PROTECAO DO POÇO/NASCENTE</b> <b>TIPO</b> <b>TAMPA</b> 1 SEM PROTEÇÃO      1 SEM TAMPA 2 TUBO DE CONCRETO 2 MADEIRA 3 ALVENARIA            3 CONCRETO 4 SOLO CIMENTO      4 OUTROS 5 MADEIRA 6 FIBROCIMENTO 7 OUTROS			<b>DESTINO DEJETOS</b> <b>1 FOSSA SECA</b> 2 FOSSA NEGRA 3 FOSSA SEPTICA 4 FOSSA BIODIGESTORA 5 CEU ABERTO 6 OUTROS			<b>DESTINO AGUAS COZINHA</b> 1 CEU EBRTO 2 RIO / CORREGO 3 FOSSA 4 CAIXA DE GORDURA 5 SUMIDOURO 6 OUTROS		

<b>FICHA DE CAMPO PARA DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL</b>	<b>MESTRANDO: MARCIANO VOTTRI</b>
<b>BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VITORINO PR</b>	<b>ORIENTADOR: JULIO C. TOMAZONI</b>
<b>GEOPROCESSAMENTO INTEGRADO A MODELAGEM HIDROLÓGICA PARA O DIAGNÓSTICO AMBIENTAL E A QUANTIFICAÇÃO DE CENÁRIOS DE USO E PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VITORINO PR</b>	
<b>QUESTIONÁRIO DE PERCEPÇÃO AMBIENTAL (SOLO E AGUA)</b>	
<b>O que você entende por conservação do solo?</b>	
<p>Você tem terraço, murundum, ou tinha na propriedade? Ou quais outras que você faz para conservar o solo? Se tinha e retirou por que você fez isso?</p>	
<b>COMO ENTENDE O PROCESSO DE DEGRADAÇÃO DO SOLO / Acredita que o solo é importante? E conservá-lo?</b>	
<p>Sua propriedade tem vala, valeta na lavoura, erosão, e se alguma época do ano a chuva lava a sua lavoura? Fez alguma coisa para melhorar?</p>	
OBSERVAÇÕES:	
<p><b>FONTE: OS AUTORES, 2017.</b> <b>ADAPTADO DE: GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ:</b> <b>PROGRAMA DE GESTÃO DE SOLO E ÁGUA EM MICROBACIAS.</b></p>	