

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**Engenharia Ambiental**

**GABRIELA MORO BERTÉ**

**MAPEAMENTO, ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL E PROPOSTA DE  
ÁREA DE EXPANSÃO URBANA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
TAMANDUÁ – PR**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**MEDIANEIRA**

**2019**

**GABRIELA MORO BERTÉ**

**MAPEAMENTO, ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL E PROPOSTA DE  
ÁREA DE EXPANSÃO URBANA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
TAMANDUÁ – PR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Vanderlei Leopold Magalhães

Co-orientador: Profa. Giovana Clarice Poggere

**MEDIANEIRA**

**2019**



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### MAPEAMENTO, ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL E PROPOSTA DE ÁREA DE EXPANSÃO URBANA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAMANDUÁ – PR

Por

**Gabriela Moro Berté**

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 13:30 h do dia 01 de julho de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel no Curso de Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Vanderlei Leopold Magalhães

UTFPR – Câmpus Medianeira

(Orientador)

---

Prof. Dr. Fabiana Schulz

UTFPR – Câmpus Medianeira

(Convidada)

---

Prof. Dr. Carla Câmara

UTFPR – Câmpus Medianeira

(Convidado)

---

Prof. Dr. Eduardo Eyng

UTFPR – Câmpus Medianeira

(Responsável pelas atividades de TCC)

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na coordenação do curso -

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que contribuíram com a minha evolução nesta jornada acadêmica. Levo no coração todas as palavras encorajadoras que pude ouvir de professores especiais e os abraços dos amigos mais queridos, os quais nunca achei que encontraria. Agradeço a confiança dos meus pais e por me proporcionarem sempre oportunidades maravilhosas de crescimento. Agradeço ainda a todos que me confortaram quando fui diagnosticada com depressão, que não me deixaram desistir da vida, que me deram um ombro para chorar quando precisei e comemoraram minhas vitórias comigo. Por fim, agradeço a Deus, que está sempre ao meu lado, me mostra que todos estamos aqui para evoluir e me dá, todos os dias, motivos para continuar nessa aventura.

## RESUMO

BERTÉ, Gabriela Moro; **Análise Da Fragilidade Ambiental E Proposta De Área De Expansão Urbana Na Bacia Hidrográfica Do Rio Tamanduá – Pr.** 2019, 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira. 2019.

A expansão urbana juntamente com o avanço da exploração dos recursos naturais causa danos ao meio ambiente, que podem ser prevenidos através de um bom planejamento ambiental. Por meio deste pode-se identificar os impactos ambientais e sociais no meio e conseqüentemente auxiliar nas tomadas de decisões do poder público. Sendo assim, a metodologia de identificação da fragilidade ambiental pode ser usada como uma ferramenta a fim de auxiliar o planejamento urbano, por esta dar resultado ao mapa que evidencia os locais com maior riscos ambientais, sejam eles relacionados com fatores naturais ou antropogênicos, o que torna o estudo de grande importância, pois indica as possibilidades e limitações do uso e ocupação humana no local de estudo. Em virtude do fato, a presente pesquisa tem como objetivo de analisar a fragilidade ambiental e propor uma área de expansão urbana dentro do limite político administrativo de Foz do Iguaçu e limite natural da bacia hidrográfica do Rio Tamanduá, afluente do Rio Iguaçu, que abastece boa parte da cidade, aumentando a importância da conservação da bacia hidrográfica. A metodologia escolhida foi a proposta por Ross (1994). Foram elaborados mapas de uso e cobertura da terra, de declividade e hipsometria, pedológico e finalmente, as cartas de fragilidade ambiental. Os softwares livres utilizados para elaboração dos mesmos foram o QGIS versão 3.4.4 e o *Google Earth Pro*. O mapa de fragilidade potencial foi elaborado através da correlação entre os mapas pedológicos e de declividade, que posteriormente foram correlacionados com os dados do mapa de uso e cobertura da terra, formando a carta de fragilidade emergente. Diante disso, foi possível averiguar que, na área urbana em expansão existem muitos locais com fragilidade alta, o que ressalta a importância de serem tomadas medidas para prevenir erosões e enchentes e assim, garantir a estabilidade do solo. A maior parte da bacia foi classificada como de média fragilidade, foi dada atenção as nascentes, as quais encontram-se em locais onde há predomínio de agricultura intensiva e conseqüentemente um alto uso de agrotóxicos, que podem afetar a qualidade da água. Por fim, foi proposto uma sugestão de expansão urbana para colaborar, como uma forma de subsídio, com o planejamento ambiental urbano do município de Foz do Iguaçu – PR.

**Palavras-chave:** Expansão Urbana. Planejamento ambiental. Fragilidade Ambiental.

## ABSTRACT

BERTÉ, Gabriela Moro. **Analysis of Environmental Fragility and Urban Expansion Area Proposal in the Tamanduá River Basin** - 2019, 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira. 2019.

The urban growth associated with the natural resources exploitation increases environmental damage which can be prevented by the environmental planning. Through this, it is able to identify environmental and social impacts and, consequently, to assist in the decision making of the public power. Thus, the environmental fragility methodology can be used as an auxiliar tool for planning and controlling the environment, for presenting evidences of higher environmental risks, being able to identify the natural or anthropogenic factors. Due to this fact, this study will analyse the environmental fragility in the Tamanduá River, an affluent of the Iguaçu River, which supplies a good part of the city, increasing the importance of the hydrographic basin. The methodology chosen was proposed by Ross (1994). Land use and land cover, slope and hypsometry maps were prepared, as well as environmental fragility maps. The free softwares used in this study were QGIS version 3.4.4 and Google Earth Pro. The map of potential fragility was elaborated by comparing the pedological and slope maps, which were correlated with land use and land cover data, forming a emergent fragility map. Therefore, it was possible to find out that in the urban area there are many places with high fragility, which is important for taking measures to prevent erosion and filling and thus, to guarantee soil stability. The main part of the basin was classified as of medium fragility, attention was given to springs, those were found in places where there is a predominance of intensive agriculture and consequently a high use of pesticides, which can affect water quality. Finally, it was a suggested an urban expansion area to collaborate, as a form of subsidy, with the urban environmental control of Foz do Iguaçu - PR.

**Keywords:** Urban Expansion. Environmental planning. Environmental Fragility.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Localização da Bacia do rio Tamanduí. ....	19
Figura 2 - Localização dos cortes para análise detalhada da declividade da bacia do Rio Tamanduí. ....	22
Figura 3 - Perfil de Elevação. ....	22
Figura 4 - Representação da equação usada na criação do mapa de fragilidade.....	25
Figura 5 - Representação da equação usada na criação do mapa de fragilidade emergente.....	25
Figura 6 - Mapa Hipsométrico da Bacia do Rio Tamanduí. ....	29
Figura 7 - Mapa de Declividade da Bacia do Rio Tamanduí Corrigido.....	29
Figura 8 - Mapa Pedológico da Bacia do Rio Tamanduí. ....	31
Figura 9 - Mapa de Uso e Ocupação do solo.....	31
Figura 10 - Mapa de Fragilidade Potencial.....	36
Figura 11 - Propostas de Ampliação da Área de Expansão.....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fragilidade das Classes de Declividade.....	23
Tabela 2 - Fragilidade das Classes de Solos. ....	25
Tabela 3 - Correlação da Fragilidade Potencial e do Uso e Ocupação.....	25
Tabela 4 - Área Ocupada Pelo Tipo de Uso do Solo Em Porcentagem.....	32



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1 OBJETIVOS .....	11
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	11
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>12</b>
2.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS E PLANEJAMENTO AMBIENTAL .....	12
2.2 GEOMORFOLOGIA URBANA .....	13
2.3 SENSORIAMENTO REMOTO .....	15
2.4 FRAGILIDADE AMBIENTAL .....	16
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>19</b>
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	19
3.2 DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA .....	20
3.3 ELABORAÇÃO DE MAPAS TEMATICOS .....	21
3.4 ELABORAÇÃO DO MAPA DE FRAGILIDADE POTENCIAL E EMERGENTE .	24
3.5 ELABORAÇÃO DA PROPOSTA DE EXPANSÃO URBANA .....	28
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>29</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO TOPOGRÁFICA E PEDOLÓGICA DA ÁREA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAMANDUÁ .....	29
4.2 MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA DO RIO TAMANDUÁ DENTRO DO LIMITE DE FOZ DO IGUAÇU .....	32
4.3 ANÁLISE DO MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE POTENCIAL E EMERGENTE NA BACIA DO RIO TAMANDUÁ.....	34
4.5 PROPOSTA DE EXPANSÃO URBANA DENTRO DA BACIA DO RIO TAMANDUÁ E DO LIMITE DE FOZ DO IGUAÇU.....	38
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional atrelado com a expansão não planejada da área urbana vem causando uma série de problemas ambientais. A ocupação de áreas com alta fragilidade ambiental provoca alterações no meio natural que podem ocasionar movimento de massa, assoreamento de rios, impermeabilização do solo, dentre outros prejuízos.

O mapeamento geotécnico permite o planejamento urbano de modo a impactar o meio ambiente da menor forma possível, respeitando os limites de fragilidade. É um importante estudo para o planejamento ambiental, possibilitando a identificação de impactos ambientais e sociais, prevenir desastres, além de auxiliar na tomada de decisão de órgãos públicos e gestores.

Ao ser relacionada com o uso e ocupação do solo, a carta de fragilidade, segundo a metodologia de Ross (1994), permite identificar áreas com diferentes graus de riscos, algumas das quais não são indicadas para expansão urbana.

O município de Foz do Iguaçu encontra-se no oeste paranaense e conta com duas bacias hidrográficas em seu território, a Bacia do Paraná III, e a Bacia do Baixo Iguaçu, em que o Rio Tamanduí está incluso e que abastece 60% da cidade.

A construção da Usina Hidrelétrica de Itaipu, iniciada na década de 1970, aumentou consideravelmente o contingente populacional do município, passando de 33.970 habitantes em 1970 para 136.320 habitantes em 1980, registrando um crescimento de 385%, refletindo no uso e ocupação do solo da cidade e evidenciando a necessidade de um planejamento urbano.

Considerando a importância do tema, o presente estudo teve por objetivo contribuir com o planejamento do município de Foz do Iguaçu, indicando as áreas mais apropriadas para expansão urbana dentro da bacia hidrográfica que abastece a cidade.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a fragilidade ambiental e propor área de expansão urbana dentro do limite político administrativo de Foz do Iguaçu e limite natural da bacia hidrográfica do Rio Tamanduá, afluente do Rio Iguaçu.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Elaborar mapas base de Declividade e Hipsometria da bacia hidrográfica do Rio Tamanduá;
- Elaborar os mapas temáticos: Pedológico, Geomorfológico e de Uso e Cobertura do solo da bacia hidrográfica do Rio Tamanduá, visando gerar os mapas de Fragilidade Ambiental;
- Apontar áreas propícias para expansão urbana a partir dos mapas de fragilidade ambiental da bacia.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS E PLANEJAMENTO AMBIENTAL

Bacia hidrográfica corresponde a uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. A mesma compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (PORTO; PORTO, 2008).

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica varia de acordo com suas características geomorfológicas como forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo e do tipo da cobertura vegetal existente (LIMA, 1976).

Segundo Ross (1995) os recursos hídricos, sejam rios, lagos ou águas subterrâneas são recursos naturais que permeiam todas as atividades e necessidades humanas. O estudo relacionados a manutenção e manejo das bacias hidrográficas é de suma importância para o planejamento ambiental, para atender as necessidades atuais e futuras da sociedade que vive no território da bacia.

Um dos primeiros procedimentos executados em análises ambientais ou hidrológicas corresponde a caracterização e análises de bacias hidrográficas que tem como objetivo elucidar as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional (TEODORO, 2007).

Uma diferente visão de planejamento surgiu na década de 1950 quando, nos Estados Unidos, os impactos ambientais resultantes de grandes obras estatais tornaram-se de grande preocupação (SANTOS et al, 1997).

No Brasil, em 1981 foi aprovada a Lei nº 6.938, da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), e teve intuito de planejar e gerenciar através de zoneamentos ambientais, usando como unidades de planejamento as bacias hidrográficas (SANTOS et al, 1997).

“O planejamento ambiental em bacias hidrográficas pode minimizar, ou mesmo evitar a ocorrência de impactos ambientais decorrentes da ação antrópica indiscriminada, com o objetivo de orientar a ocupação humana, para que sejam resguardadas as áreas destinadas à preservação

ambiental, tendo em vista a conservação dos recursos naturais, a forte instabilidade, fragilidade ambiental ou a alta suscetibilidade à erosão e movimentos de massa que certas porções da paisagem podem apresentar” GUERRA (1999, p....).

O uso dos recursos naturais de maneira descontrolada pode levar o ambiente a reagir de forma bastante rápida iniciando processos de degradação. Nestes casos ressalta-se o planejamento ambiental como sendo de extrema importância, principalmente no sentido de buscar soluções que possam trazer equilíbrio ao meio degradado (GHEZZI, 2003).

Os Comitês de Bacias Hidrográficas do Paraná são o fórum de decisão das ações a serem implementadas na sua área de abrangência e tem por objetivo contribuir para a aplicação da Política Estadual de Recursos Hídricos na sua área de atuação, a fim de garantir o controle social da Gestão dos Recursos Hídricos, conforme estabelecido na Lei estadual nº 12.726 de 26 de novembro de 1999 e Decreto nº 9130 de 27 de Dezembro de 2010.

Atualmente, no Paraná, estão instalados 5 Comitês de Bacias, sendo um deles localizado no oeste paranaense, na Bacia do Paraná 3 (ANA, 2019). Através da elaboração do plano de bacia, várias ações foram implementadas na região, a fim de conservar a qualidade da água que abastece a Usina Hidrelétrica de ITAIPU e evitar o assoreamento, aumentando a vida útil do lago.

A região de estudo do presente trabalho engloba a área que pertence a Bacia do Baixo Iguaçu, também situada em parte do oeste paranaense, porém, diferentemente da Bacia do Paraná 3, até o momento não foi implementado o Plano de Bacia, o qual traz estudos, projetos e programas de conservação da bacia (ANA, 2019).

## 2.2 GEOMORFOLOGIA URBANA

O crescimento e desenvolvimento acelerado das cidades é um grande responsável pelas transformações ambientais, descaracterizando o meio original (GUERRA; MARÇAL, 2006). O uso do solo é intensificado de acordo com interesses

econômicos e políticos, nem sempre levando em consideração a qualidade de vida, o que acarreta grandes desequilíbrios ao meio ambiente (MOURA; FREITAS, 2004).

Com a urbanização desordenada, ruas asfaltadas, impermeabilização de encostas e construção de casas e prédios em lugares não planejados ocorrem uma série de respostas geomorfológicas como movimento de massa e enchentes (GUERRA; MARÇAL, 2006). Segundo Moura e Freitas (2004) o desenvolvimento de uma cidade sem um estudo prévio da área pode trazer consequências desastrosas, em razão disso a Geomorfologia tem aplicabilidade direta no planejamento urbano, pois, se bem aplicado, evita erosão de solos, a impermeabilização dos solos pelo uso de asfalto e concreto, o assoreamento dos rios, lagos e represas, entre outras situações.

A Geomorfologia estuda as formas de relevo, sua gênese, composição e processos (FLORENZANO, 2008). A Geomorfologia Urbana busca compreender a relação entre as transformações do meio ambiente, causadas pelo homem, e a aceleração de processos geomorfológicos (GUERRA; MARÇAL, 2006). NUNES (2002) demonstra importância da Geomorfologia Urbana na escolha de locais para construção de aterros sanitários; na delimitação de zonas residências e industriais; na demarcação precisa de áreas de proteção ambiental (mananciais hídricos de abastecimento público) e áreas de risco a enchentes.

Uma das aplicações da Geomorfologia, aliada aos estudos de vulnerabilidade, refere-se aos riscos de deslizamentos. A vulnerabilidade a deslizamentos é geralmente considerada para indivíduos, em relação às construções e ruas, levando em conta o caminho preferencial dos deslizamentos (GUERRA, 2018).

Outra aplicação importante da geomorfologia ao planejamento ambiental é aquela com informação espacial, baseada no uso de SIG de alta qualidade, segundo Parkey (2015): sendo elas a identificação de áreas de floresta para sua conservação, o monitoramento da saúde ecológica; o planejamento para o desenvolvimento em um corredor de rio urbano e também o mapeamento de espécies raras e ameaçadas de extinção, numa determinada paisagem. Mais recentemente, a geomorfologia tem sido também aplicada a tópicos, como geodiversidade, geoturismo e geoconservação (GUERRA, 2018).

Sendo assim, estudos de geomorfologia urbana direcionados à expansão urbana podem contribuir para a reversão e minimização dos problemas ambientais

causados pela antropização dos ambientes naturais, recompondo a paisagem e equilibrando o meio (MOURA; FREITAS, 2004).

### 2.3 SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto é um tipo de tecnologia, a qual permite a obtenção de imagens e dados através da captação e registro da energia absorvida ou refletida pela superfície terrestre (FLORENZANO, 2011)

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisa Espacial - INPE - (2018) o termo sensoriamento remoto refere-se à obtenção de imagens à distância, sobre a superfície terrestre por meio de sensores remotos, tais como os satélites observação da Terra ou uma câmera aerofotográfica. Assim, os sensores remotos são ferramentas indispensáveis para mapeamentos e monitoramento de recursos naturais

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são sistemas computacionais, usados para entender os fenômenos no espaço geográfico. A sua capacidade de reunir uma grande quantidade de dados convencionais de expressão espacial, estruturando-os e integrando-os adequadamente (SANTOS; PINA, 2000).

Aronoff (1989) define um SIG como um sistema composto por quatro grupos de aptidões a fim de manusear dados georreferenciados, sendo eles, entrada, gerenciamento, manipulação e análise, e saída. Estes dados são definidos como georreferenciados quando possuem dimensão física e localização espacial.

Os SIG permitem melhorar a eficiência operacional e permitir uma boa administração das informações estratégicas, tanto para minimizar os custos operacionais como para agilizar o processo decisório no caso de gestão ambiental (SANTOS; PINA, 2000).

Ainda segundo Santos e Pina (2000) as imagens obtidas através dos sensores remotos oferecem uma rica fonte de dados ambientais, o que tende a ser cada vez mais importante pela comunidade de usuários da tecnologia de geoprocessamento.

Entre diversos SIGs disponíveis no mercado, para manipulação de dados espaciais, destaca-se o *software* QGIS. Segundo Manghi, et al. (2011) este *software*

é administrado pelo *Project Steering Committee*, um grupo de técnicos e especialistas em geoprocessamento e licenciado pela *General Public License* (GNU). Por tratar-se de um aplicativo baseado em uma biblioteca de código aberto, os usuários podem participar do processo de desenvolvimento do programa, escrevendo novas rotinas para as mais diversas aplicações relacionadas.

A interface do *software* é simples e de fácil manuseio, segundo Nanni (2012), e permite consultas espaciais, exploração interativa de dados, identificação e seleção de geometrias, pesquisa, visualização e seleção de atributos e criação de simbologia vetorial e raster.

O *Google Earth Pro* foi criado a partir da integração de imagens ortorretificadas (projeto *Geocover* da NASA) assentadas sobre modelos de elevação de terreno globais (missão SRTM da nave *Endeavour/NASA*) e o datum geocêntrico WGS84 (GUIMARÃES, et al. 2011). O *software* permite visualização de imagens de alta resolução gratuitamente, assim como o INPE, que disponibiliza imagens através do Catálogo de Imagens.

Segundo Camara e Monteiro (2004), no sensoriamento remoto pode-se escolher entre representações vetoriais e matriciais para a apresentação de um mapa temático dependendo do objetivo do estudo. Todos os elementos gráficos de um mapa são reduzidos a três formas básicas: pontos, linhas e polígonos.

Na representação vetorial, a representação de um elemento ou objeto é uma tentativa de reprodução mais fiel já que um ou mais pares de coordenadas representam cada objeto do modelo vetorial. Já imagens obtidas por satélites, são formas de captura indireta de informação espacial. Armazenadas como matrizes, cada elemento de imagem (pixel) tem um valor proporcional à reflectância do solo para a área imageada (CAMARA, 1995).

## 2.4 FRAGILIDADE AMBIENTAL

Segundo Miyazaki (2014), a fragilidade ambiental é um conceito muito utilizado nos estudos geomorfológicos que procuram avaliar o estado do equilíbrio dinâmico dos processos naturais, sendo importantes para realização do planejamento, seja ele com enfoque ambiental ou urbano, além de contribuir com o ordenamento territorial, com intenção de solucionar, mitigar e prevenir problemas



ambientais são decorrentes das atividades da sociedade.

Para Ghezzi (2003), a fragilidade ambiental refere-se a áreas sensíveis a impactos ambientais, tendo baixa capacidade de recuperação. Identificar essas áreas de fragilidade em uma bacia significa avaliar tanto através de análises isoladas de indicadores dos aspectos físicos quanto através de cruzamentos destes dados, a intensidade com que estas áreas podem ser exploradas sem prejudicar sua dinâmica e seu equilíbrio, levando em consideração as limitações a ele impostas através dos componentes naturais e antrópicos.

A elaboração do mapa de fragilidade ambiental é um dos principais recursos utilizados pelos órgãos públicos quando se refere ao planejamento ambiental pois o mesmo permite avaliar as potencialidades do meio ambiente de forma integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições (KAWAKUBO, 2005).

A metodologia da fragilidade empírica proposta por Ross (1994) fundamenta-se no princípio de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre seus componentes físicos e bióticos.

A fragilidade ambiental, segundo Ross (1994), é definida a partir dos conceitos de Unidades Ecodinâmicas: uma Estável (Instabilidade Potencial) e uma Instável (Instabilidade Emergente). Estas, para a sua construção, exigem num primeiro instante os estudos básicos do relevo, solo, geologia, uso da terra e vegetação (KAWAKUBO, 2005).

Posteriormente, ainda segundo Kawakubo (2005), essas informações são analisadas de forma integrada gerando um produto síntese que expressa os diferentes graus de fragilidade que o ambiente possui em função de suas características.

O mapa de fragilidade potencial é então obtido a partir do cruzamento das informações de classificação de solos, declividade e distância dos recursos hídricos. Com o mapa de fragilidade potencial pode se obter o mapa de fragilidade emergente ao ser cruzado com as informações de uso e ocupação do solo (ROSS, 1994).

Magalhães; Cunha e Nóbrega (2014) também se utilizaram desta metodologia, com adaptações, em uma bacia hidrográfica de primeira ordem, no município de Marechal Cândido Rondon no Estado do Paraná obtendo sucesso no mapeamento das áreas de vulnerabilidade no distrito de Margarida. Como conclusão

do estudo os autores observaram que as atividades como a piscicultura, condicionaram impactos ambientais nos fundos de vale, como a retirada da mata ciliar e problemas de erosão. Já nas áreas de topo, ainda na análise dos autores, apesar de apresentarem baixa vulnerabilidade, a instalação da vila tem acelerado a evolução de processos erosivos do topo em direção à baixa vertente, processos estes agravados pela impermeabilização do solo pela camada asfáltica e pelo inadequado fluxo concentrado de água pluvial da drenagem urbana, desconsiderando o formato da bacia.

Já Rocha e Bade (2018) apresentaram a caracterização e correlação dos mapeamentos da fragilidade ambiental e da capacidade de uso das terras na bacia hidrográfica do Paraná 3, também envolvendo Foz do Iguaçu, visando, sobretudo, contribuir com a identificação das áreas de estabilidade e instabilidade ambiental facilitando a proposição de práticas de conservação adequadas às diferentes unidades de paisagem.

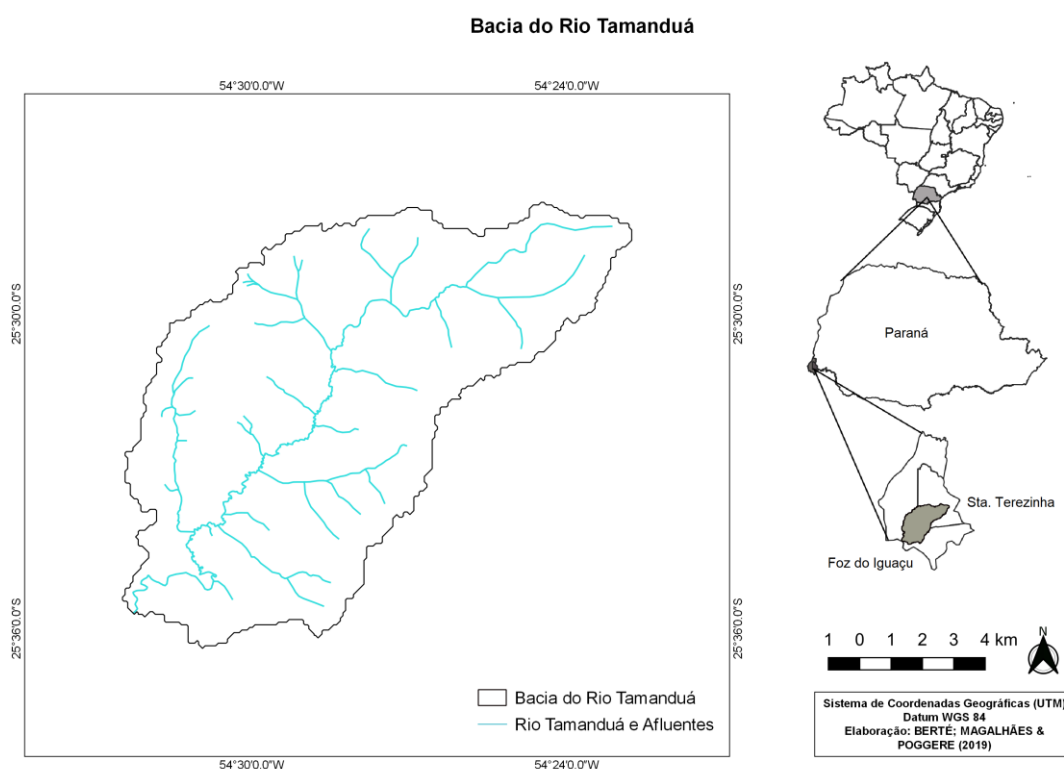
Sendo assim, a formulação dos mapas de fragilidade ambiental potencial e emergente de uma determinada área pode auxiliar em um diagnóstico-síntese que pode nortear as intervenções antrópicas futuras e corrigir os problemas presentes (GHEZZI,2003).

### 3 METODOLOGIA

Considerando que o presente trabalho tem a preocupação de demonstrar o estado ambiental em que se encontra a bacia do rio Tamanduá, ou seja, seu grau de fragilidade ambiental, aplicou-se a metodologia proposta por ROSS (1994), e como unidade espacial de análise, a bacia hidrográfica em questão.

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Tamanduá situa-se na região sul do Brasil, no oeste do Estado do Paraná. A mesma se estende pelos Municípios de Foz do Iguaçu e Santa Terezinha de Itaipu, sendo assim, pertence a bacia hidrográfica do Baixo Iguaçu. A Figura 1 ilustra a localização geográfica da bacia e sua representatividade nos dois municípios (PDDIS, 2016).



**Figura 1 - Mapa de Localização da Bacia do rio Tamanduá.**

**Fonte: Autoria Própria (2019)**

Com uma extensão de 27.900m, o rio Tamanduá tem uma grande importância para o município de Foz do Iguaçu pois abastece cerca de 60% da população segundo o Plano Diretor (2016), sendo que a população estimada pelo IBGE de 2018 para Foz do Iguaçu é de 258.823 pessoas. O rio Tamanduá cruza regiões periféricas da cidade no sentido sudoeste e desagua no rio Iguaçu. O uso predominante do solo nessa bacia é com atividades agrícolas, com cerca de 1920 hectares, segundo o Plano Diretor (2016) do município.

A bacia está inserida na unidade morfoestrutural da bacia sedimentar do Paraná, na subunidade morfoescultural do Planalto de Foz do Iguaçu, localizada no Terceiro Planalto Paranaense. A altitude média da subunidade é de 450 metros acima do nível do mar (SANTOS et al., 2006).

A área da bacia corresponde a 139,87 km<sup>2</sup>, onde 73,05 km<sup>2</sup> estão dentro do limite político-administrativo de Foz do Iguaçu, ou seja, 52,22% da área total. A análise de fragilidade potencial será feita para a bacia como um todo, porém para a proposta de expansão urbana o intuito é que o trabalho seja focado na região da bacia dentro de Foz do Iguaçu, para que a análise possa ser mais detalhada, além disso, o perímetro urbano de Santa Terezinha de Itaipu encontra-se relativamente afastado da bacia, não sendo um local prioritário para a expansão urbana da cidade.

O solo da região de Foz do Iguaçu é basicamente composto por Latossolos e Nitossolos com algumas áreas de Neossolos, Gleissolos e Argissolos (MINEROPAR, 2001).

O clima da região é classificado como Cfa - Clima Temperado úmido com verão quente, de acordo com o diagrama de classificação climática de Koppen (ALVARES et al, 2013). A temperatura média é de 21,01°C e as chuvas estão presentes em todos os meses do ano, possuindo uma precipitação média anual de 1.807,4 milímetros, segundo Alvares et al (2013).

### 3.2 DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

Para o processo de delimitação de bacias hidrográficas em SIG, foram usadas informações de relevo obtidas através do Modelo Numérico de Terreno

(MNT). Para obter-se o MNT foram usadas imagens da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), corrigidas para 30 metros de resolução espacial no TOPODATA (Banco de Dados Geomorfométrico do Brasil), disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Assim, diversas pesquisas vêm sendo conduzidas com o objetivo de analisar, comparar e atualizar informações da superfície terrestre por meio de dados do SRTM.

Através do *software* QGis, ao importar os arquivos raster, obteve-se o MNT através de uma ferramenta raster embutida no próprio *software*.

O Rio Tamanduá pode ser reconhecido através do *shapefile* da bacia hidrográfica do Iguaçu, disponível no site da Agência Nacional das Águas (ANA). Com essas informações foram identificados os topos de morro que fazem a delimitação da bacia hidrográfica do Rio Tamanduá, permitindo que estes fossem então vetorizados.

### 3.3 ELABORAÇÃO DE MAPAS TEMATICOS

Para elaboração do mapa de declividade foi utilizada a imagem SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) disponibilizada pelo INPE através do TOPODATA, com projeção UTM, Zona 21S, Datum WGS84, possuindo resolução espacial de 30 metros.

A imagem SRTM foi importada para o *software* livre QGis o qual possui uma ferramenta que transforma graus em porcentagens, assim, os dados de declividade puderam ser separados em categorias adaptadas de ROSS (1994), empregadas para mapeamento de fragilidades em áreas urbanizadas.

Para obtenção do mapa hipsométrico repetiu-se a mesma operação, diferenciando-se na ferramenta, para este foi utilizada uma que permite renderização banda simples – falsa cor e com uma interpolação linear, os resultados foram agrupados em 8 classes com intervalo igual de 30 metros, variando de 100 metros até 330 metros de altitude.

Entretanto, o mapa de declividade indicou uma parte com declividade mais acentuada, sendo que esta fez-se presente próxima ao corpo hídrico, coincidindo justamente com a mata ciliar.

A imagem SRTM utilizada corresponde a um Modelo Digital do Superfície (MDS), ou seja, um modelo que representa, graficamente, o relevo da superfície terrestre. Sendo assim, considerou-se que, por ser um MDS, pode haver um conflito de informações com as árvores no terreno, fazendo com que o *software* apresente essa maior declividade.

Por este motivo, utilizou-se outro instrumento para análise da declividade do terreno mais detalhado no *software Google Earth* (Figura 2).



**Figura 2 - Localização dos cortes para análise detalhada da declividade da bacia do Rio Tamanduá.**

**Fonte: Autoria Própria (2019)**

Através do perfil de elevação do Corte 2 representado pelo traço de cor amarela na Figura 2 e o segundo perfil na Figura 3, pode-se observar melhor as áreas em que o mapa de declividade apresentou declividades médias (12 a 20%) e, com isso, constatou-se que, nessa área, a maior declividade presente é de 10,4%, ou seja, há apenas declividades que variam de fraca (6 a 12%) e muito fraca (< 6%).

Com estas observações foi possível corrigir os lugares onde houveram equívocos no detalhamento da declividade para poder gerar um mapa de fragilidade potencial mais preciso.

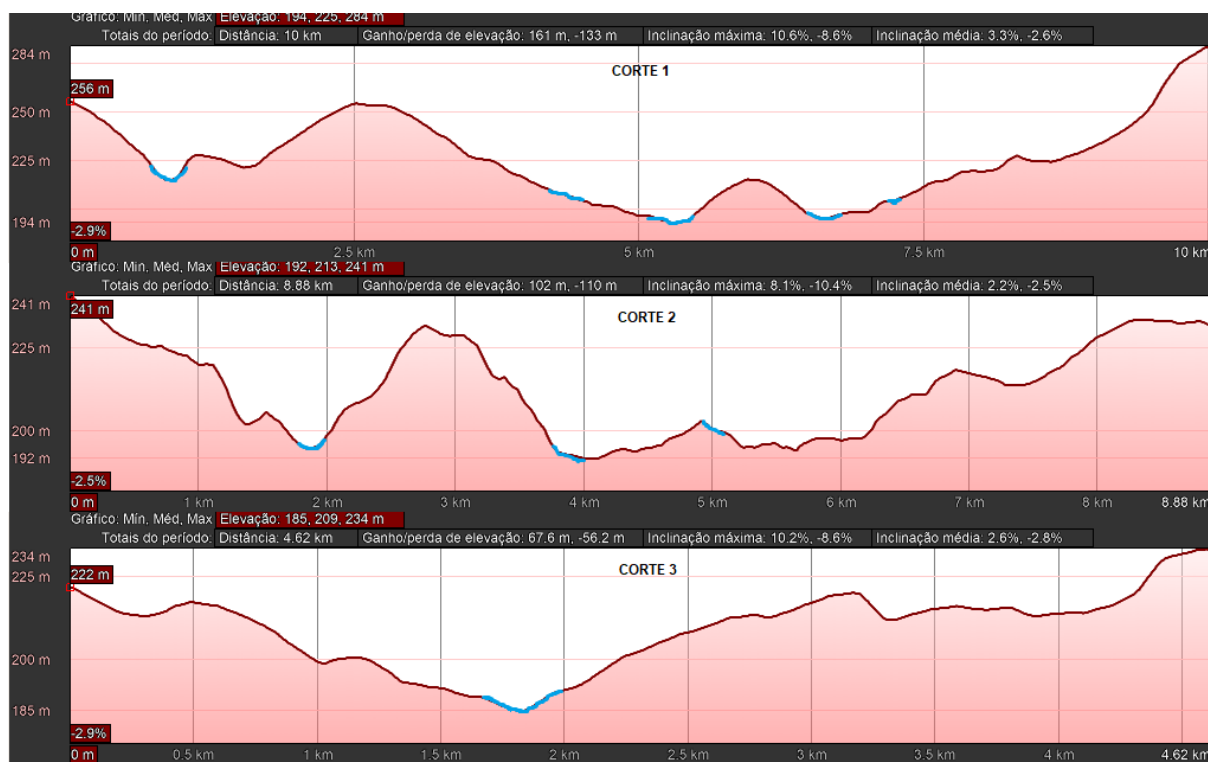


Figura 3 - Perfil de Elevação.

Fonte: Autoria Própria (2019)

O mapa de solos foi obtido utilizando dados do Banco de Dados de Informações Ambientais do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) que apresenta 3 níveis de legenda dinâmicos de acordo com o zoom na tela, onde, no terceiro nível, apresenta escala a partir de 1:400.000 na tela. Primeiramente são gerados *shapefiles* de solos do estado do Paraná, em seguida, os recortes foram importados para o *software* livre QGIS, onde foi gerado o mapa de solos da área da bacia hidrográfica do rio Tamanduá. A partir da ferramenta do *software* que permite categorizar as classes de solo, foi possível ordená-las e realizar a classificação.

Para elaborar-se o mapa de uso e cobertura da terra, foi utilizado o *software* QGIS versão 3.4.4 juntamente com a ferramenta do *Google Earth* para delimitação de polígonos dos temas, tais como vegetação, área de expansão, agricultura, pastagem, gramíneas e açudes.

Através da vetorização em tela no QGis, associado ao *Google Earth*, procurou-se identificar as áreas modificadas por ações antrópicas e as áreas com cobertura vegetal, a fim de compreender a distribuição espacial do uso da terra no local definido para estudo, sendo este caracterizado pelo limite político-administrativo do município de Foz do Iguaçu. Assim, foi possível obter as porcentagens referentes a cada tipo de uso do solo dentro da área estipulada.

### 3.4 ELABORAÇÃO DO MAPA DE FRAGILIDADE POTENCIAL E EMERGENTE

Para elaboração dos mapas de fragilidade potencial e emergente, segundo Ghezzi (2003), é recomendado que seja efetuada uma análise integrada dos componentes e que cada tema seja avaliado a partir de uma hierarquia de 5 classes de fragilidade.

Para este trabalho, foi utilizada a metodologia de Ross (1994), que propôs cinco classes de fragilidade de acordo com a declividade (Tabela 1), as quais foram usadas para elaboração dos mapas de fragilidade ambiental.

**Tabela 1 - Fragilidade das Classes de Declividade.**

<b>Atributo</b>	<b>Classes de Declividade</b>	<b>Grau de Fragilidade</b>
<b>1</b>	Até 6%	Muito Baixa
<b>2</b>	De 6 a 12%	Baixa
<b>3</b>	De 12 a 20%	Média
<b>4</b>	De 20 a 30%	Alta
<b>5</b>	Acima de 30%	Muito Alta

Fonte: Ross (1994).

Para a fragilidade dos solos, Ross (1994) agrupou as classes de solos, de acordo com a antiga Classificação de solos de 1981 (Tabela 2).



Tabela 2 - Fragilidade das Classes de Solos.

Atributo	Classes de Solos	Grau de Fragilidade
1	<b>Latossolo Vermelho Eutrófico</b> Latossolo Vermelho Eutrófico Latossolo Vermelho Distrófico Latossolo Vermelho Distrófico	Baixa
2	<b>Nitossolo Vermelho Eutrófico</b>	Médio
3	Argissolo Vermelho Eutrófico Neossolos Litólicos Eutróficos Gleissolo Háplico Indiscriminado	Alto

Fonte: Ross (1994).

O mapa de fragilidade potencial é o cruzamento entre as informações obtidas através dos mapas geomorfológicos e pedológicos (Figura 4), com o objetivo de uma maior representatividade da vulnerabilidade natural do ambiente no local de estudo. Na equação usada foi considerado um peso de 0,5 para o mapa de solo e o de declividade, gerando assim um mapa com as informações mescladas representando a fragilidade potencial da área.

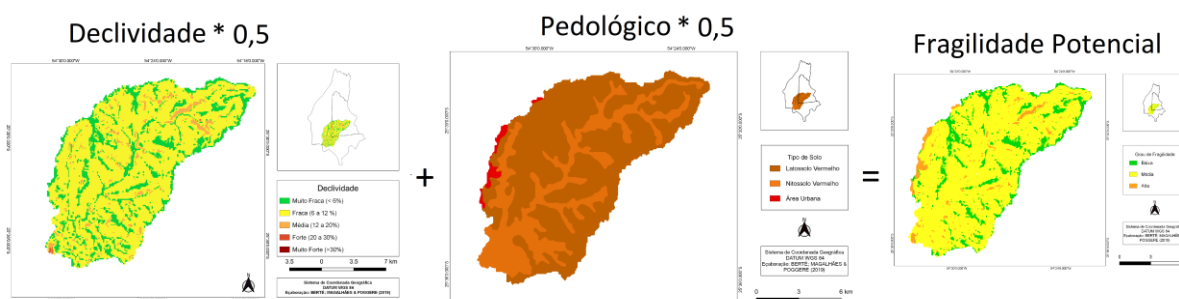


Figura 4 - Representação da equação usada na criação do mapa de fragilidade.

Fonte: Autoria Própria (2019)

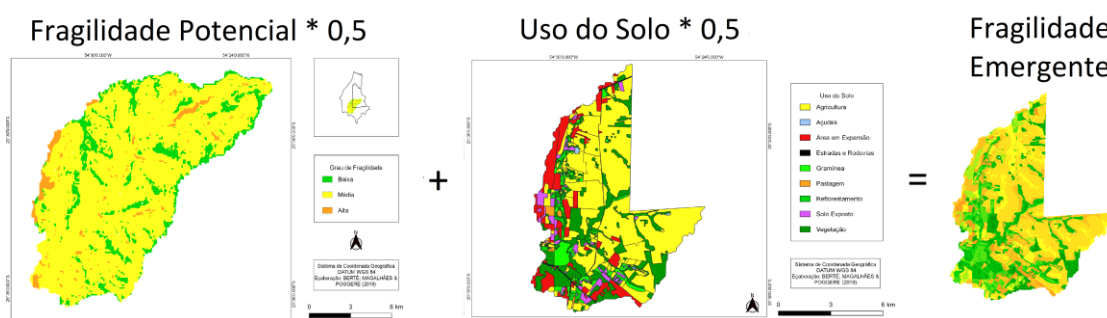
Ambientes com baixo risco ambiental corresponderam àqueles que possuem baixo grau de fragilidade de acordo com o tipo de solo e de declividade. Portanto, corresponderam à fragilidade baixa, as áreas em verde em que a declividade muito fraca (< 6%) foi cruzada com o Latossolo e as áreas em amarelo, que correspondem as declividades fracas (6 a 12%) cruzadas tanto com o Latossolo e a declividade muito fraca (< 6%) cruzada com o Nitossolo.

Já os ambientes considerados de médio risco de fragilidade, foram aqueles onde há uma declividade mais acentuada e um tipo de solo mais profundo, onde há uma declividade mediana e um tipo de solo um pouco menos profundo e, por fim, onde encontrou-se um tipo de solo mais sensível e uma declividade mais baixa.

Considerou-se ambientes com risco ambiental alto e eminente as áreas em que possuíam declividade mais acentuada e um tipo de solo mais raso; onde encontrou-se um tipo de solo muito raso e uma declividade mediana e também áreas com tipo de solo raso associados com uma declividade alta.

Na bacia em questão as áreas com declividades médias (12 a 20%) que foram cruzadas com o Nitossolo e a área urbana consolidada corresponderam as áreas de fragilidade alta. A única área de declividade forte (20 a 30%) na foz do rio Tamanduá, próximo à área urbana, foi cruzada com a área de Nitossolo, obtendo assim também uma área de fragilidade alta.

Pode-se avaliar a fragilidade emergente da área pertencente a Foz do Iguaçu da bacia do rio Tamanduá, com base no cruzamento de dados do mapa de fragilidade potencial com as informações do mapa de uso e ocupação do solo, descrita na Tabela 3 e ilustrada na Figura 5. Para este trabalho considerou-se o os impactos gerados pelas diferentes formas de uso e manejo da área da bacia e a vulnerabilidade natural do ambiente.



**Figura 5 - Representação da equação usada na criação do mapa de fragilidade.**

**Fonte: Autoria Própria (2019)**

Tabela 3 - Correlação da Fragilidade Potencial e do Uso e Ocupação.

Grau de Fragilidade	Fragilidade Potencial	Fragilidade Emergente
<b>Muito Baixa</b>	-	- Baixa fragilidade potencial associada com vegetação ou áreas de reflorestamento
<b>Baixa</b>	- Declividades muito fraca (< 6%) associadas com Latossolo Vermelho -	- Baixa fragilidade potencial associada com áreas de gramíneas, pastagens, estradas ou rodovias
<b>Média</b>	- Declividades muito fraca (< 6%) associadas com Nitossolo Vermelho - Declividades fracas (6 a 12%) associadas ao Latossolo Vermelho ou ao Nitossolo Vermelho	- Baixa fragilidade potencial associada com áreas agrícolas - Média fragilidade potencial associada com áreas de vegetação, reflorestamento, gramínea ou pastagem
<b>Alta</b>	- Declividades fracas (6 a 12%) associadas à área urbana - Declividades médias (12 a 20%) associadas a Nitossolo Vermelho	- Baixa fragilidade associada com açudes ou solo exposto - Média fragilidade potencial associada a solo exposto, áreas em expansão, áreas agrícolas, rodovias ou estradas - Alta fragilidade potencial associada com área em expansão

Fonte: Autoria Própria (2019)

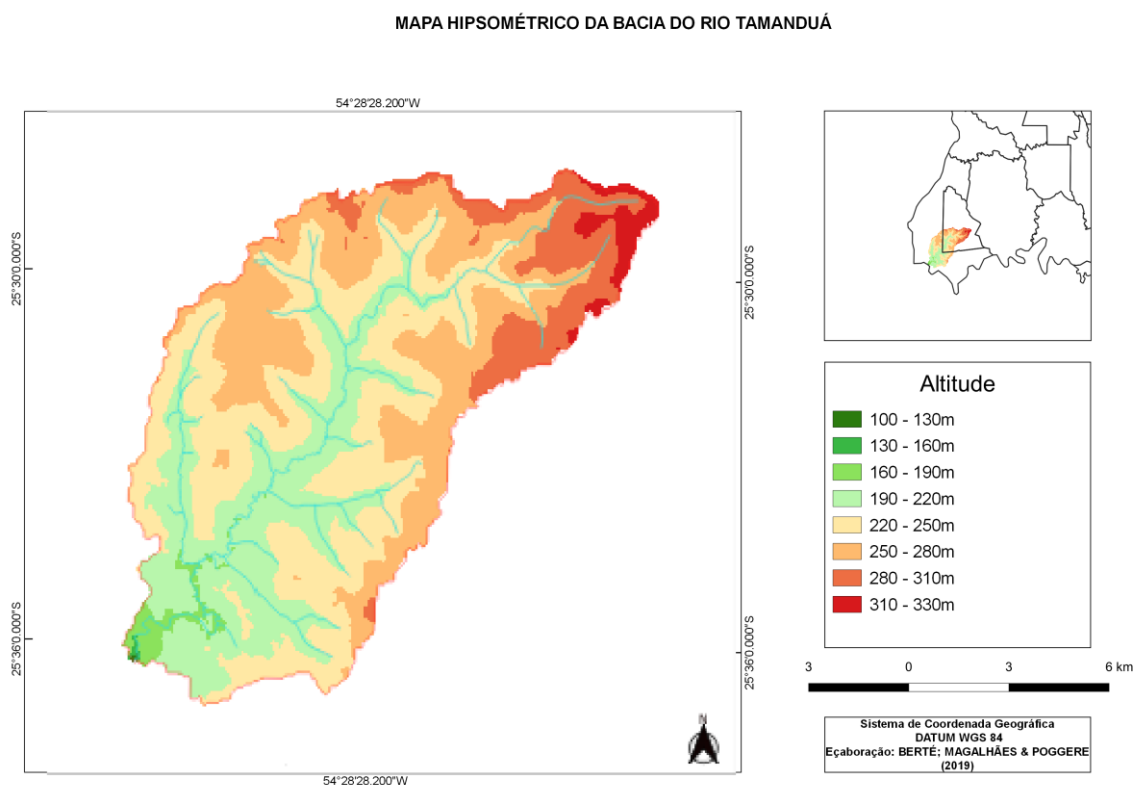
### 3.5 ELABORAÇÃO DA PROPOSTA DE EXPANSÃO URBANA

Para a composição do mapa de expansão urbana, foi levado em conta o mapeamento de fragilidade ambiental. Sendo assim, as áreas de alto risco foram classificadas como impróprias para a expansão urbana, as áreas de médio risco foram classificadas como médio risco para expansão urbana, já as áreas de baixo risco foram admitidas como próprias para a expansão da área urbana.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO TOPOGRÁFICA E PEDOLÓGICA DA ÁREA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAMANDUÁ

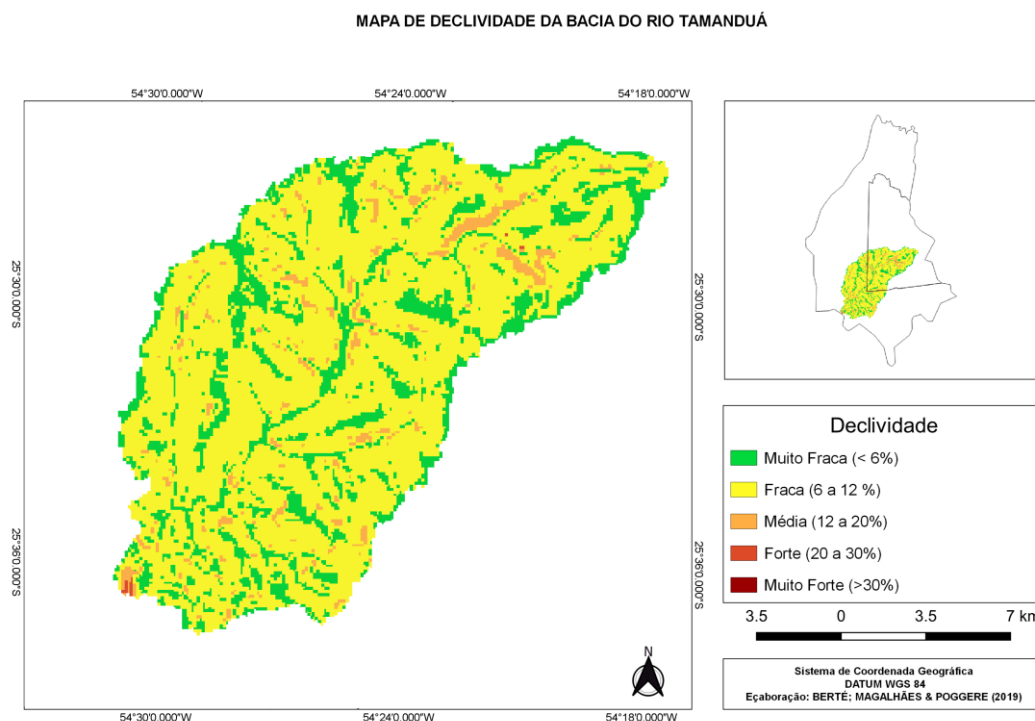
A partir do mapa hipsométrico (Figura 6), observa-se que a bacia apresenta relevo majoritariamente plano e suave ondulado, variando de 100 metros, onde o rio Tamanduá desagua no rio Iguazu, até 320 metros no nordeste da bacia, já no município de Santa Terezinha de Itaipu. As regiões com menor altitude coincidem com a presença do corpo hídrico principal, já nas localidades com maior altitude encontram-se as nascentes e divisores de água do mesmo. A área urbana e de expansão, por sua vez, encontram-se na porção noroeste do mapa, com uma variação de 210 a 250 metros de altitude.



**Figura 6 - Mapa Hipsométrico da Bacia do Rio Tamanduá.**

**Fonte: Autoria Própria (2019)**

O mapa de declividade obtido após as correções pode ser observado na Figura 7.



**Figura 7 - Mapa de Declividade da Bacia do Rio Tamandú Corrigido.**

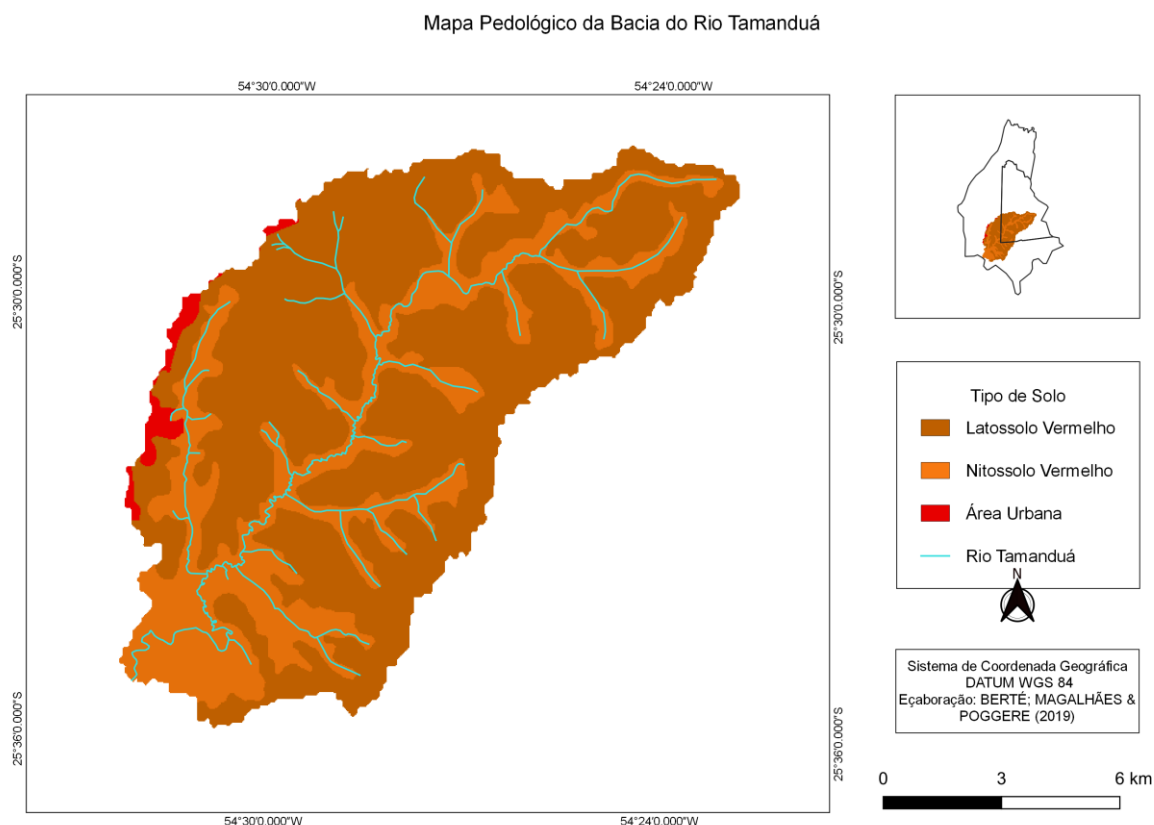
**Fonte: Autoria Própria (2019)**

Grande parte do território da bacia foi identificado como declividade fraca (6 a 12%). Próximo aos cursos hídricos a declividade diminuiu, sendo caracterizada como muito fraca (< 6%). Pequenas porções da área da bacia continuaram sendo classificadas como de declividade média (12 a 20%) sendo que essas não passam de 13%. Apenas um local foi caracterizado como declividade muito forte (> 30%), este é encontrado próximo a foz do rio Tamandú, onde a sua declividade chega a, no máximo, 33%.

Com a Figura 3 pode-se analisar melhor a inclinação das vertentes e as formas do relevo. Nota-se que a área analisada no Corte 1 e 3 possui colinas médias e amplas, cujas vertentes apresentam inclinação máxima de 8%. Dos topos com formato ligeiramente convexos e achatados partem as vertentes, que são predominantemente retilíneas apresentando, contudo, uma suave ruptura côncava na base. Já o Corte 2 que apresenta uma ruptura maior com altitude variando de 200

metros mais próximo às encostas e 241 metros no topo do morro mais alto, com vertentes de menor extensão e inclinação máxima de 10%.

O mapeamento pedológico da área da bacia permitiu identificar as duas classes de solos predominantes: Latossolo Vermelho, Nitossolo Vermelho, conforme ilustrado na Figura 8.



**Figura 8 - Mapa Pedológico da Bacia do Rio Tamanduá.**

**Fonte: Autoria Própria (2019)**

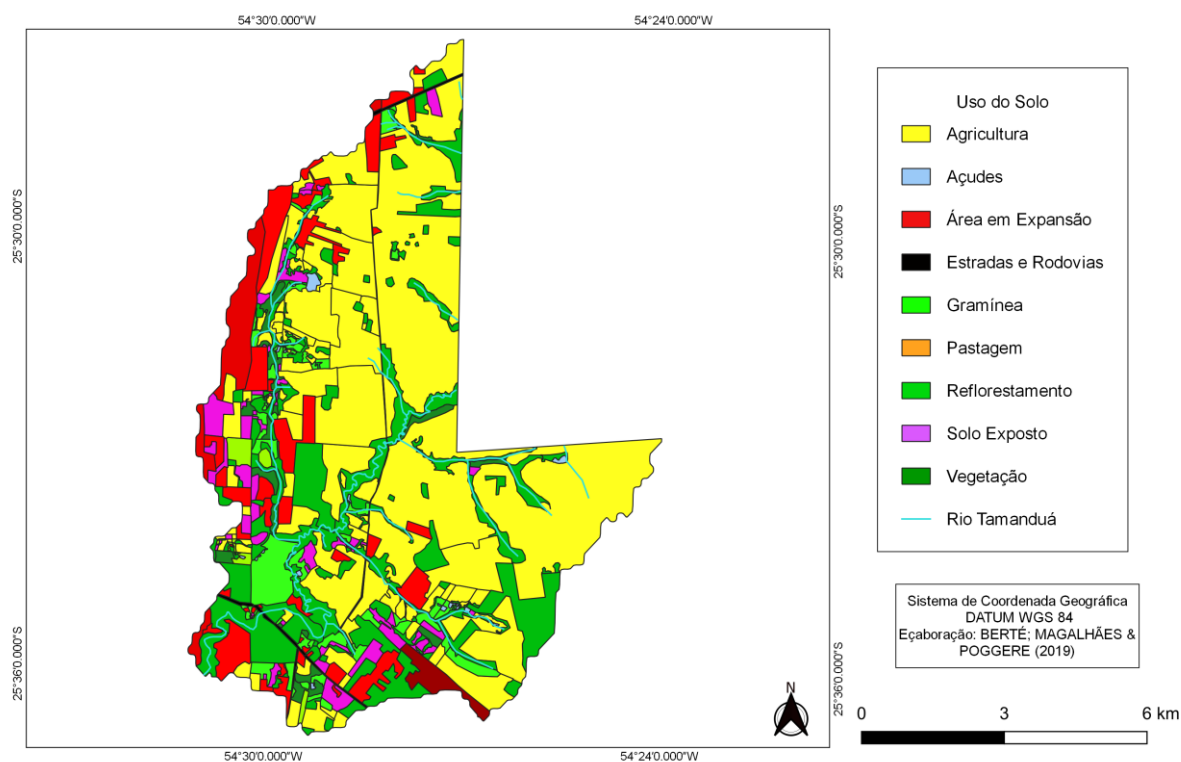
Nas áreas próximas do curso hídrico há presença do Nitossolo Vermelho Eutroférico. Segundo o sistema brasileiro de classificação dos solos (2018), este solo possui profundidades médias, coincidindo com áreas que possuem declividades baixas e médias. Possui textura argilosa ou muito argilosa, com presença de blocos subangulares, angulares ou prismáticos, de grau moderado ou forte (SANTOS, 2018). No Nitossolo, quando associado com projetos de urbanização sem controle de drenagem adequada, podem necessitar de práticas de contenção e conservação pois essa estrutura em blocos de grau forte faz com que a permeabilidade do solo seja menor do que no Latossolo que tende a ter estrutura entre blocos e grânulos.

Já o Latossolo Vermelho Distroférico é mais intemperizado, ou seja, mais evoluído que o Nitossolo, mais profundo, possui textura argilosa ou muito argilosa e boa drenagem. São características de solos estáveis, com morfologia uniforme, geralmente coincidem com declividades muito baixas, ou seja, terrenos mais planos, sem rupturas e são recomendados para urbanização por serem mais seguros.

#### 4.2 MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA DO RIO TAMANDUÁ DENTRO DO LIMITE DE FOZ DO IGUAÇU

Através do mapeamento de uso e cobertura do solo obteve-se o mapa ilustrado na Figura 9, onde as classes foram analisadas através de suas porcentagens presentes na Tabela 4.

Mapa de Uso do Solo da Bacia do Rio Tamandú em Foz do Iguaçu



**Figura 9 - Mapa de Uso e Ocupação do solo**

**Fonte: Autoria Própria (2019).**



**Tabela 4 - Área Ocupada Pelo Tipo de Uso do Solo Em Porcentagem.**

Uso do Solo	Área Ocupada (%)
Agricultura	55,49
Açudes	0,31
Área em Expansão	11,10
Estradas e Rodovias	0,62
Gramíneas	4,55
Pastagens	0,71
Reflorestamento	1,92
Solo Exposto	4,00
Vegetação	21,35
<b>Total</b>	<b>100,0</b>

**Fonte: Autoria Própria (2019).**

Constatou-se que o uso predominante do solo é com atividades agrícolas, 55,49% do total de 73,05 km<sup>2</sup> da bacia presente dentro do município de Foz do Iguaçu. Nota-se que a nascente do Rio Tamanduá e também de seus afluentes nascem em áreas com cultivos agrícolas. Por ser um rio utilizado para o abastecimento da população, é preocupante a contaminação da água pelo uso intensivo de agrotóxicos, em função da vulnerabilidade natural dos solos no que se refere à movimentação por transporte, tal como a lixiviação e a erosão.

Os solos presentes na bacia apresentam perfil profundo e, por isso, favorecem principalmente a lixiviação (PESSOA et al, 2006), sendo mais perigosos para contaminação de águas subterrâneas. Ainda assim, há um pequeno risco de escoamento superficial em locais onde o Nitossolo não é bem manejado, conferindo tendência potencial à contaminação de águas superficiais.

A vegetação é bem representativa neste setor da Bacia. Tem a segunda maior porcentagem do tipo de uso do solo, 21,35% dos 73,05 km<sup>2</sup>. Boa parte do curso hídrico possui em seu entorno a mata ciliar. É de extrema importância a conservação desta área de preservação pois a mesma auxilia na estabilidade do

solo, diminuindo a erosão ao entorno do corpo hídrico, evitando seu assoreamento, que pode, conseqüentemente, causar enchentes.

Já as áreas urbanas e de expansão presentes na bacia apresentam o 11,10% do território, sendo a maioria delas localizadas na área composta por Nitossolo, próximo a um dos afluentes do rio principal, o rio Tamanduazinho. Segundo estudos feitos na região (SILVA; OLIVEIRA, 2008), a mesma já foi utilizada para extração de argila, fornecendo matéria prima para as olarias da cidade. Entretanto, esta atividade causou danos significativos na nascente do rio Tamanduazinho, tais como as voçorocas, tornando a área extremamente sensível. Atualmente a mata entorno da nascente foi restaurada, porém, é necessário a conscientização da população quanto a preservação da mata ciliar.

Algumas porções menores da área em expansão estão próximas da foz do rio Tamandua. Essa região possui declividade mais acentuada, em alguns pontos chegando a 30%, o que não é indicado para urbanização.

Há também algumas áreas em expansão, como loteamentos em construção, próximas ao aeroporto municipal. Além disso, na rodovia que dá acesso ao aeroporto (Rodovia das Cataratas) pode-se encontrar uma grande quantidade de hotéis instalados e alguns em construção. Outra rodovia que conta com áreas em expansão em sua proximidade é a BR 277.

Foram encontradas também áreas de solo exposto, cerca de 4% da área correspondente, próximas das áreas em expansão. Ao contrário das áreas identificadas como gramíneas (4,55%) e reflorestamento (1,92%), que se encontram próximas as áreas de vegetação.

Áreas de pastagem e açudes foram as que apresentaram menores porcentagens com relação a área total, 0,71% e 0,31% respectivamente, geralmente encontradas próximas as áreas de agricultura intensiva.

#### 4.3 ANÁLISE DO MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE POTENCIAL E EMERGENTE NA BACIA DO RIO TAMANDUÁ

O mapeamento da fragilidade ambiental permitiu visualizar o predomínio de fragilidade média na maior parte da área da bacia do rio Tamandúá mesmo próximas ao curso hídrico (Figura 10).

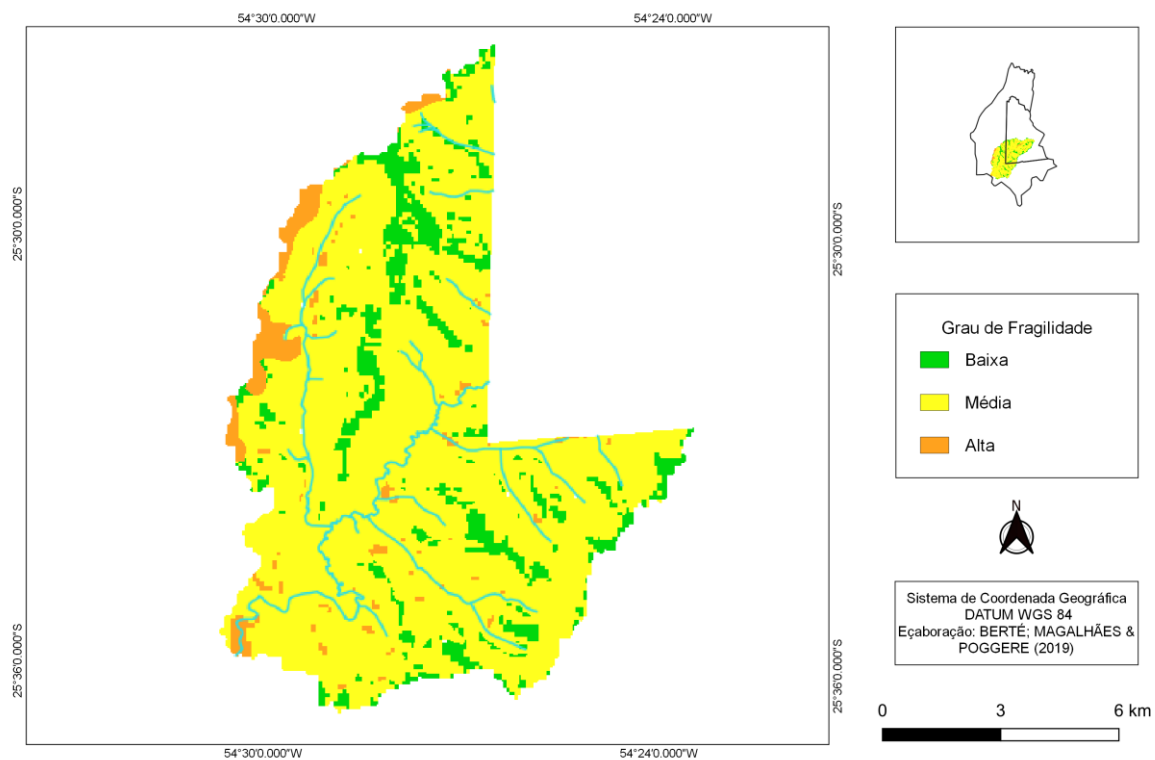
Algumas áreas de expansão urbana estão em locais de fragilidade alta, o que pode ser preocupante. Também encontra-se a alta fragilidade próximo a foz do rio Tamandúá, por possuir declividades mais acentuadas mescladas com o Nitossolo, tornando-o mais vulnerável.

A declividade é um dos fatores que influencia fortemente nos processos de erosão, sobretudo na erosão hídrica do solo. A medida que esta aumenta, aumentam conseqüentemente o volume e a velocidade da enxurrada e diminui a infiltração de água no solo (COGO et al., 2003). Sendo assim, áreas com declividades acentuadas tendem a apresentar maiores níveis de fragilidade potencial (GONÇALVES et al., 2011).

Áreas de baixa fragilidade potencial foram encontradas no topo dos divisores de água, ou seja, nas localidades com maior altitude, onde a declividade é menos acentuada e há presença de Latossolo.

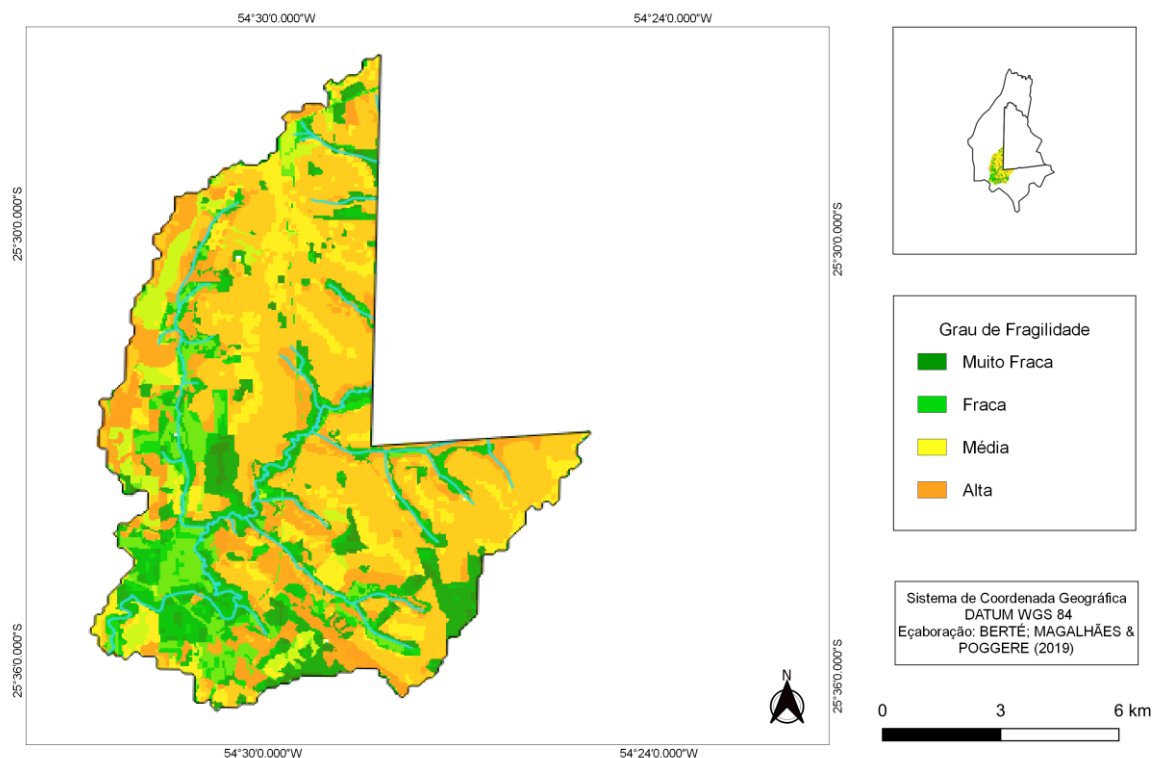
Não foram identificadas áreas com fragilidades potencial muito altas ou muito baixas na bacia.

Mapa de Fragilidade Potencial da Bacia do Rio Tamanduá

**Figura 10 - Mapa de Fragilidade Potencial.****Fonte: Autoria Própria (2019)**

O resultado do cruzamento dos mapas de fragilidade potencial com o de uso e ocupação pode ser encontrado na Figura 11.

Mapa de Fragilidade Emergente da Bacia do Rio Tamandua

**Figura 11 - Mapa de Fragilidade Emergente.****Fonte: Autoria Própria (2019).**

Boa parte do território da bacia foi caracterizado como de média fragilidade, com variações de amarelo e laranja claro representado no mapa, sendo eles os locais com maior extensão de áreas agrícolas, ou seja, essa área pode ser utilizada tranquilamente, desde que seja feito o manejo correto do local.

O segundo grau mais expressivo na bacia está representado por tons de verde e é o que varia de fragilidade fraca a muito fraca. Essas correspondem a áreas em que é mais indicado para urbanização, ou seja, onde irão ocorrer menos problemas caso haja expansão. Entretanto, não são indicadas as áreas muito próximas ao corpo hídrico, mesmo que com fragilidade muito fraca, devido a manutenção da mata ciliar e também da qualidade da água.

Algumas áreas apresentaram fragilidade alta, ou seja, não são primeiramente indicadas para se tornarem áreas de expansão, pois necessitam que sejam tomadas boas medidas de precaução, quanto a declividade e o solo, antes da urbanização da área, tais como redes de drenagem muito eficientes. Porém, parte dessa área que

possui fragilidade alta já está com área urbana consolidada e em expansão, portanto são indicadas medidas de manutenção para que essas áreas não sofram com problemas de drenagem, movimentos de massa e afins.

#### 4.5 PROPOSTA DE EXPANSÃO URBANA DENTRO DA BACIA DO RIO TAMANDUÁ E DO LIMITE DE FOZ DO IGUAÇU

Como pode-se observar na Figura 11 a área urbana que está se expandindo atualmente já ocupa partes onde foi caracterizado como alta fragilidade ambiental, sinalizadas no mapa através das áreas em pontilhados. Estas áreas precisarão de atenção especial pois correm mais riscos ambientais por não possuírem uma drenagem tão boa, assim podem estar sujeitas a enchentes, o que também afeta a estabilidade do solo. Portanto, seria interessante o monitoramento dessas áreas, ações de conservação do solo e a instalação de uma rede de drenagem eficiente para a segurança e qualidade de vida da população.

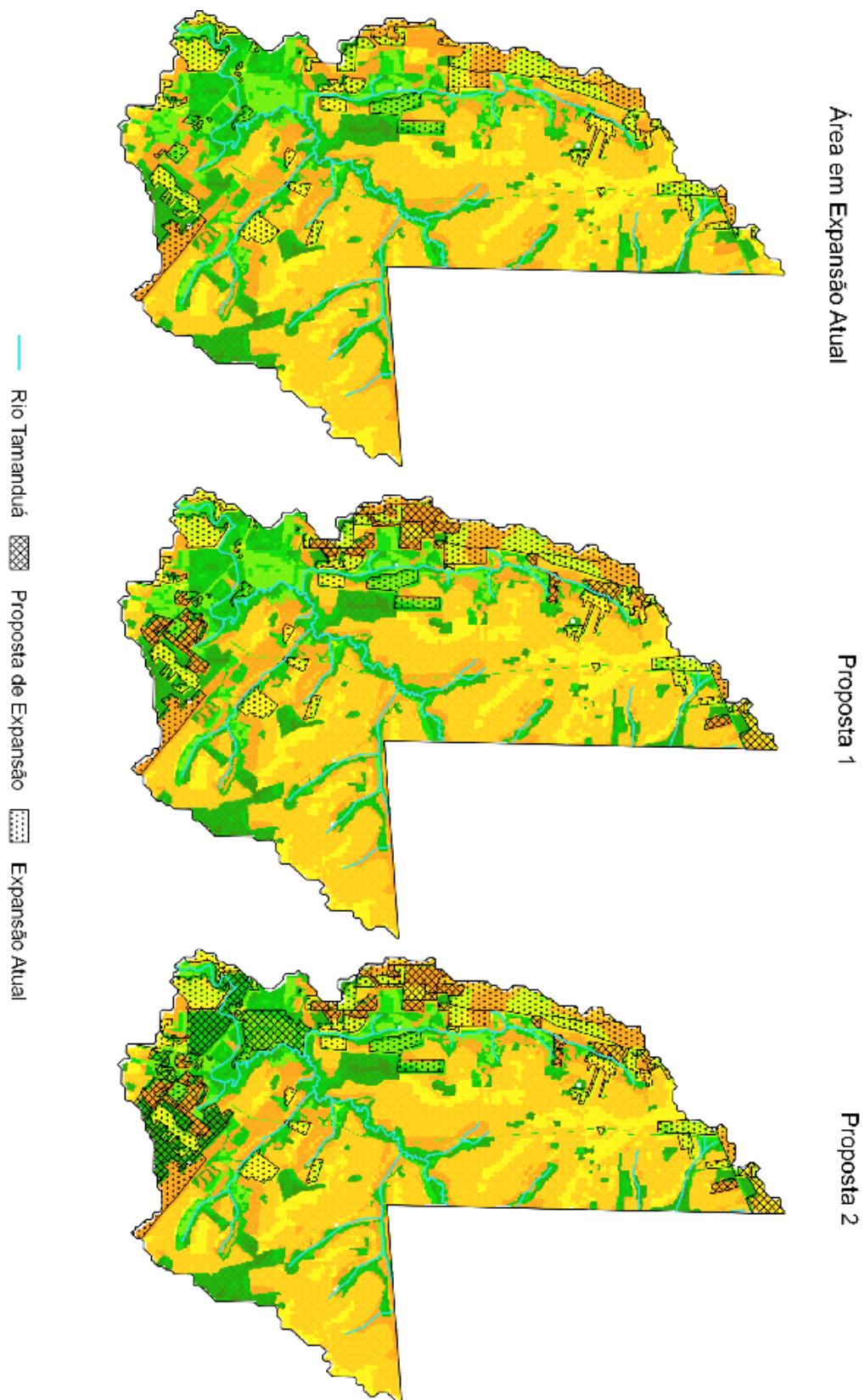


Figura 12 - Propostas de Ampliação da Área de Expansão.

Fonte: Autoria Própria (2019)

Para a proposta de expansão 1 foram priorizadas áreas próximas as atuais áreas urbanas, desde que estas fossem de fragilidade emergente baixa e média com fácil acesso, porém evitando as que estivessem com vegetação bem desenvolvida e áreas muito próximas do corpo hídrico.

Já para a proposta de expansão 2 considerou-se um cenário onde os locais da proposta 1 já tivessem sido ocupados. Foram priorizadas áreas com baixa fragilidade ambiental emergente, mesmo as que contém vegetação mais desenvolvida, e também áreas próximas ao aeroporto municipal e a rodovia das cataratas que, localizam-se em uma região mais afastada, com grande concentração de hotéis e pousadas.



## 5 CONCLUSÃO

O mapeamento de fragilidade potencial e emergente na área de estudo possibilitou a análise da correlação das características naturais e dos impactos causados pela ocupação antrópica.

Referente a fragilidade potencial, verificou-se que a maior parte da bacia hidrográfica está, predominantemente, em áreas de fragilidade média, devido a presença de solos tipo Latossolos Vermelhos associados às declividades médias. Nas áreas de expansão, encontra-se a predominância de fragilidade alta, excetuando algumas áreas com fragilidade potencial média, pois encontra-se solos do tipo Nitossolos Vermelhos sobre declividade média (12 a 20%). Não foram encontradas áreas com fragilidade muito alta nem muito baixas. Entretanto, as fragilidades baixas foram encontradas no topo dos divisores de águas, nos quais predominam o Latossolos Vermelho associado a baixas declividades.

Os locais de fragilidade emergente média foram observados em áreas de agricultura intensiva e algumas áreas onde há expansão urbana. Já as áreas consideradas fragilidade emergente forte, foram observadas locais de fragilidade potencial forte associada com áreas com solo exposto ou área urbana. Nesses locais, torna-se necessário novos projetos de planejamento ambiental, que envolvam método de contenção e a prevenção da degradação do solo, além de problemas socioambientais.

Por fim, o presente estudo indica áreas de expansão urbana onde há áreas de baixa fragilidade emergente, com a finalidade de recomendar um crescimento urbano ordenado sem que o meio físico original seja muito afetado e se torne problemático e um risco para a população.

## REFERÊNCIAS

ALVARES, A. C., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. L. M., SPAROVEK, G. **Koppen's climate classification map for Brazil Meteorologische Zeitschrift**, Gebruder Borntraeger Vol. 22, No. 6, 711–728, 2013.

ANA. **Agência Nacional Das Águas**. 27 de Maio de 2019. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/pagina-98.html>.

ARONOFF, S. **Geographic information systems: a management perspective**. Ottawa, WDL Publications, 1989. 295 p.

CÂMARA, G. **Modelos, Linguagens E Arquiteturas Para Bancos De Dados Geográficos** Tese submetida ao Programa de Doutorado em Computação Aplicada SAO JOSÉ DOS CAMPOS, SP DEZEMBRO, 1995

CAMARA, G. MONTEIRO, A. M. V. **Conceitos Básicos Em Ciência Da Geoinformação**. Instituto Nacional De Pesquisa Espacial. São José Dos Campos. 2004.

CAVALER, J. P. **ANÁLISE MULTITEMPORAL E FRAGILIDADE AMBIENTAL DA CIDADE DE FOZ DO IGUAÇU** - PR. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

COGO, N. P; LEVIEN, R; SCHWARZ, R. A. **Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 743 - 753, 2003.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 392p.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia E Planejamento Ambiental – Conceitos E Aplicações**. Revista de Geografia (Recife) V. 35, No. 4 (especial XII SINAGEO), 2018.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 192p.

GUERRA, A. T. **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos Temas e Aplicações**. 1ª ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

GUEZZI, A. O. **Avaliação e mapeamento da fragilidade ambiental da Bacia do Rio Xaxim, Baía de Antonina-PR, com o auxílio de geoprocessamento**. 2003. Dissertação de mestrado. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1884/33951>>

Gonçalves, G. G. G. et al. **Determinação Da Fragilidade Ambiental De Bacias Hidrográficas**. FLORESTA, Curitiba, PR, v. 41, n. 4, p. 797 - 808, out./dez. 2011.

GUIMARÃES, D. P., LANDAU, E. C., BARROS, C. A. **Uso do Google Earth para a estimativa da extensão do Rio São Francisco**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.1186

IAPAR – **Instituto Agrônômico do Paraná**. Cartas Climáticas do Paraná. Londrina, 1998. Disponível em: Acesso em: 30 de setembro de 2018.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 30 de setembro de 2018. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/foz-do-iguacu/panorama>

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>. Acesso em 07 de Maio de 2019.

JACOMINE, P. K. T. **A Nova Classificação Brasileira De Solos**. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, Recife, vols. 5 e 6, p.161-179, 2008-2009.

KAWAKUBO F.S., MORATO R.G., CAMPOS K.C., LUCHIARI A., ROSS J. L. S. **Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento**. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto;

2005; São José dos Campos. Goiânia: INPE; 2005. p. 2203-2210

LIMA, W.P. **Princípios de manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ. USP, 1976.

MAGALHÃES, V. L.; CUNHA, J. E.; NÓBREGA, M. T. **Indicadores de Vulnerabilidade Ambiental**. Revista Brasileira de Geografia Física, vol.07, n.06 p.1133-1144. 2014.

MANGHI, G., CAVALLINI, P., NEVES, V. Quantum GIS: **Um desktop potente e amigável**. Revista FLOSSGIS Brasil, V. 2, p. 10 - 15, 2011.

MINEROPAR, **Atlas Geológico do Estado do Paraná**. 2001. <http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/MapasPDF/atlasgeo.pdf>

MIYAZAKI, L. C. P. **Dinâmicas de apropriação e ocupação em diferentes formas de relevo: impactos e vulnerabilidades em ambientes urbanos**. 2014. 265 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/132172>>. Acesso em 11 de Setembro de 2018.

MOURA, S.; FREITAS, M. I. C. **A Geomorfologia e o Uso de Técnicas de Sensoriamento Remoto Aplicada ao Planejamento Urbano da Cidade de Analândia – SP**. V Simpósio Nacional de Geomorfologia. I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia. UFSM - RS, 2004.

NANNI, Arthur et al. Quantum GIS - **Guia do Usuário**, Versão 1.7.4 'Wroclaw'. Maio de 2012. 291p., il. Disponível em: <<http://qgisbrasil.org/>>. Acesso em: 23 de Outubro de 2017

NUNES, J. O. R. **Uma contribuição metodológica ao estudo da dinâmica da paisagem aplicada a escolha de áreas para a construção de aterro sanitário em Presidente Prudente-SP**. 2002. 212f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, 2002. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/101450>>. Acesso em 11 de Setembro de 2018.

OLIVEIRA, M. Z., SILVA, M. A. **Danos Causados Por Extração Mineral Em Área De Proteção Ambiental** Faculdade Dinâmica Das Cataratas. Trabalho De Conclusão do Curso De Pós-Graduação Em Educação Ambienta. Foz do Iguaçu. 2008.

PARANÁ. Decreto nº 9130. **Processo de Instituição de Comitês de Bacia Hidrográfica**, 27 de Dezembro de 2010.

PARANÁ. LEI Nº 12.726. **Política Estadual de Recursos Hídricos**, 26 de Novembro de 1999.

PARKEY J. ***Spatial Information For Environmental Planning***. Relatório Técnico, Anderson County Government, *South Carolina*, Estados Unidos, 1-4. 2015.

PDDIS – **Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado Sustentável**. 2016.

PESSOA, M. C. P. Y., GOMES, M. A. F., SCRAMIN, S., SILVA, A. S., GUSSAKO, K. C. **Vulnerabilidade Natural Das Grandes Bacias Hidrográficas Brasileiras À Tendência De Contaminação De Águas Por Agrotóxicos Em Função Do Tipo De Solo Predominante**. *Pesticidas: r. ecotoxicol. e meio ambiente*, Curitiba, v. 16, p. 39-52, jan./dez. 2006.

PMFI - **Prefeitura do Município de Foz do Iguaçu**, Secretaria Municipal de Administração e Departamento de Informações Institucionais. **Dados Socioeconômicos de Foz do Iguaçu 2010**. Disponibilizado em: <http://www.fozdoiguacu.pr.gov.br/Portal>. Acesso em 30 de setembro de 2018

PORTO, M. F. A. e PORTO, R. L. L. **Gestão de bacias hidrográficas**. *Avenida - xxSão Paulo*, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200004>>. Acesso em: 30 de Setembro de 2018.

ROCHA, A. S.; BADE, M. R. **Geografia da bacia hidrográfica do Paraná 3: fragilidades e potencialidades socioambientais**. Jundiaí, SP: Ed. In House, 2018. 314 p.

ROSS, J. L. S. **Análise e síntese na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental**. *Revista do Departamento de Geografia*, 1995

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes antropizados**. Revista do Departamento de Geografia. São Paulo: FFLCH/USP, n. 8, p. 63-74, 1994. Disponível em: < <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>> Acesso em 13 de Setembro de 2018.

ROSS, J.L.S. **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. 4 ed. São Paulo: Contexto. 1997.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, I. dos.; VITTE, A. C. **Proposta de Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Palmital, Região Metropolitana de Curitiba**. In: I Fórum Geo-Bio-Hidrologia: Estudos em vertentes e microbacias hidrográficas. Anais. Curitiba, 1998.

SANTOS, I. **Proposta de Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Palmital, Região Metropolitana de Curitiba**. Curitiba, 1997 (Monografia). Departamento de Geografia. UFPR, 1997.

SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRAC. T. da; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. L. S. **Mapeamento Geomorfológico do estado do Paraná**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Paraná, ano 7, n. 2, p. 03-12, 2006. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/279674051\\_Mapeamento\\_Geomorfologico\\_do\\_Estado\\_do\\_Parana/download](https://www.researchgate.net/publication/279674051_Mapeamento_Geomorfologico_do_Estado_do_Parana/download). Acesso em 30 de setembro de 2018

SANTOS, R. F., CARVALHAIS, H. B., PIRES, F. **Planejamento Ambiental e Sistemas de Informações Geográficas. Caderno de Informações Georreferenciadas** – CIG. Volume 1 - Número 2 - Artigo 2, FEC/UNICAMP, 1997.  
SANTOS, S. M., PINA, M. F. **Conceitos básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia aplicados à saúde**. Brasília: OPAS, 2000.

SILVA, M. A. Breve História de Foz do Iguaçu. Foz do Iguaçu. Epígrafe. 2014.

SOBRINHO, T. A., OLIVEIRA P. T. S, RODRIGUES. D. B. B., AYRES F. M. **Delimitação Automática De Bacias Hidrográficas Utilizando Dados Srtm**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.30, n.1, p.46-57, jan./fev. 2010. Disponível em < <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n1/a05v30n1>>

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. **O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o**

**entendimento da dinâmica ambiental local. Revista Uniara, v.20, p.137-157, 2007**