

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

PAULINE GOTTSTEIN

**DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL  
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO CAMPO, PR**

CAMPO MOURÃO

2017

PAULINE GOTTSTEIN

**DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL  
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO CAMPO, PR**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia Ambiental do Departamento Acadêmico de Ambiental (DAAMB) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Eudes José Arantes

CAMPO MOURÃO

2017



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Ambiental - DAAMB  
Curso de Engenharia Ambiental



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO DO CAMPO, PR

por

PAULINE GOTTSTEIN

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 19 de junho de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho APROVADO.

---

Prof. Dr. Eudes José Arantes

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Maristela Denise Moresco Mezzomo

---

Prof. Dr. José Hilário Delconte Ferreira

*O Termo de Aprovação assinado encontra-se na coordenação do curso de Engenharia Ambiental.*

À minha mãe,  
pelo apoio, paciência e amor incondicional.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo e sobre todas as coisas.

A minha mãe, pelo exemplo de mulher, pela dedicação à família, pelo amor incondicional e paciência.

Aos meus avós – *in memoriam* – pelos esforços durante toda a vida, pelo carinho e cuidado em minha criação.

A uma pessoa especial, pelo apoio e incentivo durante toda graduação, por acreditar em mim e me encorajar, sempre com muito amor, cumplicidade e paciência, Igor.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eudes José Arantes, pelos ensinamentos transmitidos, pela orientação e oportunidade em projetos de extensão e iniciação científica, e, principalmente, pela paciência e confiança em mim depositadas.

A todos os professores que tive durante a graduação, por compartilharem seus ensinamentos e contribuírem em minha formação profissional e pessoal.

A todos os colegas de graduação que compartilharam comigo as alegrias e desafios dessa caminhada.

A equipe da Coordenação Regional da Bacia Hidrográfica do Alto Ivaí, pela oportunidade de enriquecimento e experiência profissional, e, especialmente, pelo laço de amizade criado.

“Ninguém comete erro maior do que não  
fazer nada porque só pode fazer um pouco”  
(Edmund Burke)

## RESUMO

A busca pelo equilíbrio entre o crescimento econômico, a preservação ambiental e a justiça social, tem fortalecido o paradigma do desenvolvimento sustentável. Com isso, os indicadores exercem função importante na geração de dados para a avaliação da sustentabilidade, descrevendo a dinâmica dos problemas existentes na área de interesse, indicando a direção, a prioridade das mudanças e transformando dados em informações relevantes para a construção de estratégias políticas e de planejamento, que contribuam com um desenvolvimento sustentável. Portanto, o presente estudo teve como objetivo determinar o índice de sustentabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio do Campo – PR, por meio de indicadores representativos das condições ambientais, sociais e econômicas predominantes na área de estudo, empregando técnicas de geoprocessamento. O índice de sustentabilidade (IS) utilizado neste estudo consiste em uma adaptação da proposta de Couto (2007), sendo constituído de três dimensões que caracterizam o uso e ocupação do solo (fator de uso do solo), a condição física da área (fator de fragilidade potencial) e a condição de desenvolvimento humano (fator de desenvolvimento humano), refletindo os aspectos propostos no modelo de avaliação Pressão - Estado - Impacto – Resposta (PEIR), recomendado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). O IS foi calculado em nove sub-bacias e para a bacia do rio do Campo como um todo, sendo expresso na forma de um número entre zero e um, onde quanto mais próximo da unidade melhor a condição de sustentabilidade da bacia. Assim, a bacia do rio do Campo apresentou, para fator de uso do solo, áreas predominantemente agrícolas, correspondendo a este fator o peso 0,55. Para o fator de fragilidade potencial, os indicadores aplicados indicaram áreas predominantemente planas, com uma rugosidade média a fraca, resultando em um índice de 0,69. Já o fator de desenvolvimento humano, que analisou as dimensões educação, longevidade, saneamento e renda, evidenciou os menores valores para a dimensão saneamento e os melhores para a dimensão longevidade, obtendo um índice final de 0,671. A agregação dos três fatores que compõe o índice de sustentabilidade indicou que a bacia do rio do Campo apresenta um nível médio de sustentabilidade com IS de 0,64. No entanto, destaca-se que a obtenção do IS por sub-bacia permitiu a identificação de diversos níveis de sustentabilidade dentro da mesma bacia hidrográfica, evidenciando que a área mais crítica está compreendida na sub-bacia 3, pertencente ao município de Peabiru, já a melhor condição de sustentabilidade foi encontrada na sub-bacia 6, pertencente ao município de Campo Mourão. Portanto, considera-se que o índice gerado possa ser utilizado para um rápido diagnóstico das condições da bacia, sendo aproveitado pelas comunidades locais, tanto por instituições públicas como entidades de caráter privado, no suporte ao planejamento e gestão de ações socioeconômicas e ambientais voltadas para a sustentabilidade das sub-bacias analisadas.

**Palavras-chave:** Indicadores. Sustentabilidade. Uso do solo. Fragilidade potencial. Desenvolvimento humano.

## ABSTRACT

The search for a balance between economic growth, environmental preservation and social justice has strengthened the paradigm of sustainable development. Thus, indicators practice an important role in generating data for sustainability rating, describing the dynamics of existing problems in the area of interest, indicating the direction, the priority of changes and transforming data into information relevant to the political and planning strategies construction, that contribute to sustainable development. Therefore, the present study aimed to determine an environmental sustainability index of the Campo's river watershed - PR, by representative indicators of environmental, social and economic conditions prevailing in the study area, using geoprocessing techniques. The sustainability index (SI) used in this study consists of an adaptation of Couto's (2007) proposal, which consists of three dimensions that characterize land use and occupation (soil use factor), the physical condition of the area (potential fragility factor) and the human development condition (human development factor), reflecting the aspects proposed in the evaluation model Pressure - State - Impact - Response (PSIR), recommended by the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). The SI was calculated in nine sub-basins and for the entire Campo's river watershed, expressed as a number between zero and one, where the closer to the unit the better is the condition of basin sustainability. Thus, the Campo's river watershed presented, for the soil use factor, predominantly agricultural areas, corresponding to this factor the weight of 0.55. For the potential fragility factor, the indicators applied indicated predominantly flat areas, with a roughness varying from medium to poor, resulting in an index of 0.69. The human development factor, which analyzed the dimensions of education, longevity, sanitation and income, showed the lowest values for the sanitation dimension and the best ones for the longevity dimension, with a final index of 0.671. The aggregation of the three factors that make up the sustainability index indicated that the Campo's river watershed presents an average level of sustainability with SI of 0.64. However, it is noteworthy that the achievement of SI by sub-basin allowed the identification of several levels of sustainability within the same watershed, evidencing that the most critical area is comprised in sub-basin 3, belonging to the municipality of Peabiru, on the other hand, the best sustainability condition was found in sub-basin 6, belonging to the municipality of Campo Mourão. Therefore, it is considered that the generated index can be used for a quick diagnosis of the watershed conditions, being taken advantage by local communities, both by public institutions and private entities, in the support to the planning and management of socioeconomic and environmental actions aimed to the sustainability of the sub-basins analyzed.

**Key-words:** Indicators. Sustainability. Soil use. Potencial fragility. Human development.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio do Campo, Paraná, Brasil.	21
Figura 2 - Sobreposição entre o modelo numérico de terreno e a hidrografia da bacia do rio do Campo - PR.....	23
Figura 3 - Identificação e delimitação das nove sub-bacias do rio do Campo - PR .....	24
Figura 4 - Organograma do Índice de Sustentabilidade Ambiental .....	29
Figura 5 - Classificação da Cobertura e uso da terra na bacia do rio do Campo - PR .....	37
Figura 6 - Faixas de altimetria da bacia do rio do Campo - PR .....	40
Figura 7 - Peso atribuído ao fator de fragilidade potencial por sub-bacia do rio do Campo - PR.....	41
Figura 8 - Relevo com sombeamento da bacia do rio do Campo - PR .....	42
Figura 9 - Classes de Declividade da bacia do rio do Campo - PR.....	43
Figura 10 - Setores Censitários dos municípios de Campo Mourão e Peabiru que foram considerados dentro dos limites da bacia do rio do Campo – PR.....	45
Figura 11 - Setores Censitários que foram considerados dentro dos limites das sub-bacias do rio do Campo - PR .....	46
Figura 12 - Resultados obtidos para as quatro dimensões que compõe o fator de desenvolvimento humano por sub-bacia do rio do Campo - PR .....	47
Figura 13 - Faixas de Desenvolvimento humano atribuídas ao fator de desenvolvimento humano por sub-bacia do rio do Campo – PR .....	52
Figura 14 - Índice de Sustentabilidade Ambiental por sub-bacia do rio do Campo - PR .....	53
Figura 15 - Níveis de Sustentabilidade atribuídos por sub-bacia do rio do Campo - PR .....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Peso atribuído por Classe de Uso da Terra.....	30
Tabela 2 - Peso atribuído por Classe de Rugosidade .....	31
Tabela 3 - Faixas atribuídas por Classe de Desenvolvimento Humano .....	33
Tabela 4 - Fator de uso do solo atribuído as sub-bacias do rio do Campo - PR, de acordo com a classe predominante de cobertura e uso da terra .....	38
Tabela 5 - Valores obtidos para as variáveis consideradas no cálculo do índice de rugosidade das sub-bacias do rio do Campo - PR .....	38
Tabela 6 - Valor atribuído ao fator de fragilidade potencial de acordo com as faixas de Índice de Rugosidade obtidas para as sub-bacias do rio do Campo - PR, considerando as Classes de rugosidade .....	39
Tabela 7 - Fator de fragilidade potencial atribuído as sub-bacias do rio do Campo - PR, de acordo com o índice de rugosidade.....	40
Tabela 8 - Número de setores censitários por sub-bacia do rio do Campo - PR .....	45
Tabela 9 - Resultados obtidos para as dimensões que compõe o fator de desenvolvimento humano por sub-bacia do rio do Campo - PR .....	46
Tabela 10 - Fator de desenvolvimento humano atribuído as sub-bacias do rio do Campo - PR, relacionado as faixas de desenvolvimento humano.....	51
Tabela 11 - Índice de Sustentabilidade obtido por sub-bacia e para a bacia do rio do Campo - PR.....	53
Tabela 12 - Enquadramento das sub-bacias do rio do Campo - PR de acordo com os intervalos para os Níveis de Sustentabilidade .....	54

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>13</b>
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>14</b>
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1 Área de estudo .....</b>	<b>20</b>
<b>4.2 Banco de dados.....</b>	<b>22</b>
4.2.1 Obtenção e tratamento do SRTM.....	22
4.2.2 Delimitação da bacia e sub-bacias.....	23
4.2.3 Mapa de cobertura e uso da terra .....	25
4.2.4 Preparação dos setores censitários .....	26
<b>4.3 Índice de sustentabilidade.....</b>	<b>27</b>
4.3.1 Cálculo do fator de uso do solo .....	29
4.3.2 Cálculo do fator de fragilidade potencial.....	30
4.3.3 Cálculo do fator de desenvolvimento humano.....	31
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>5.1 Fator de uso do solo .....</b>	<b>37</b>
<b>5.2 Fator de fragilidade potencial .....</b>	<b>38</b>
<b>5.3 Fator de desenvolvimento humano .....</b>	<b>44</b>
<b>5.4 Índice de sustentabilidade ambiental .....</b>	<b>52</b>
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>58</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As discussões em torno da temática da sustentabilidade surgem a partir da necessidade de repensar as interações fundamentais proveniente da relação entre homem e natureza, tendo como desafio a compatibilização entre o crescimento econômico, a preservação ambiental e a esfera social. Essa relação tornou-se mais complexa, a partir do momento em que o homem passou a interferir nos ciclos naturais com a aceleração dos processos produtivos, do crescimento demográfico, da agricultura e urbanização (GUIMARÃES, 2008; LIRA, 2008; OLIVEIRA, 2007).

No contexto mais amplo das questões ambientais, o problema da conservação dos cursos hídricos, atualmente, assume um papel relevante, visto que a água é um elemento indispensável para a sobrevivência de todas as espécies e exerce uma influência decisiva na qualidade de vida das populações. Contudo, o modo como são utilizados e gerenciados os recursos hídricos tem levado a um nível de degradação ambiental e a riscos de escassez de água que comprometem a qualidade de vida das atuais e futuras gerações (ISAIAS, 2008).

Segundo Tonello (2005), a bacia hidrográfica deve ser considerada como unidade de planejamento para o uso e exploração dos recursos naturais visando a sua conservação, visto que as atividades desenvolvidas em seu interior têm influência direta sobre a quantidade e qualidade destes recursos.

Índices e indicadores são instrumentos fundamentais para o gerenciamento de bacias hidrográficas. Em suma, um índice é constituído por indicadores e os indicadores são resultantes da composição de parâmetros e dados (GOMES; MALHEIROS, 2012; MAYNARD; CRUZ; GOMES, 2014).

Assim, os índices se tornam instrumentos de mensuração da sustentabilidade, que contribuem para o planejamento, monitoramento e gerenciamento de bacias hidrográficas, caracterizando-se como uma ferramenta de suporte a decisão no processo de gestão. Além disso, os índices e indicadores têm o papel de transmitir informações à sociedade de forma objetiva, com clareza e confiabilidade (GOMES; MALHEIROS, 2012; MAYNARD; CRUZ; GOMES, 2014).

Para a determinação de indicadores de sustentabilidade ambiental o uso do geoprocessamento é um elemento de apoio fundamental em sua formulação e aplicação, pois permite a organização, manipulação e o processamento de uma grande diversidade de dados, integrando-os em uma única base de dados com

informações referentes a diversos aspectos do estudo de uma região e possibilitando a geração de novos planos de informação (CÂMARA; DAVIS, 2001; COUTO, 2007).

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo determinar o índice de sustentabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio do Campo – PR, por meio de indicadores representativos das condições ambientais, sociais e econômicas predominantes na área de estudo, de forma integrada, empregando técnicas de geoprocessamento, bem como o tratamento matemático e a combinação apropriada de dados, a fim de subsidiar o planejamento e gerenciamento dos recursos naturais e a adoção de políticas públicas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O presente estudo teve como objetivo determinar o índice de sustentabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio do Campo – PR.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Elaboração um banco de dados com planos de informações utilizando um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para posterior aplicação do índice de sustentabilidade ambiental proposto;
- Setorização da bacia hidrográfica do rio do Campo em sub-bacias;
- Levantamento dos dados necessários para o cálculo do índice de sustentabilidade ambiental;
- Cálculo dos fatores que compõe o índice de sustentabilidade ambiental;
- Obtenção do índice de sustentabilidade ambiental de cada sub-bacia e da bacia hidrográfica do rio do Campo;
- Identificação dos níveis de sustentabilidade das sub-bacias e da bacia do rio do Campo – PR após aplicação do índice de sustentabilidade ambiental.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

A crescente preocupação com o meio ambiente causada pelo aumento da demanda por recursos naturais e a constante degradação dos ecossistemas tem elevado as discussões sobre a questão ambiental e o desenvolvimento. A busca pelo equilíbrio entre o crescimento econômico, a conservação ambiental e a justiça social, tem fortalecido o paradigma do desenvolvimento sustentável (COUTO, 2007; LIRA, 2008).

O Relatório Brundtland, publicado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), estabeleceu a definição de desenvolvimento sustentável como sendo “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades” (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1991, p. 46).

Portanto, o desenvolvimento sustentável, de acordo com Lima e Munhoz (2000), deve aliar o desenvolvimento social e econômico de forma equilibrada, considerando ainda a fragilidade dos recursos naturais, o que significa produzir utilizando estes recursos de modo a respeitar a importância dos sistemas ecológicos e a capacidade de recomposição e recuperação destes, criando mecanismos que permitam o acesso de toda a sociedade aos recursos naturais.

A necessidade de um novo modelo de desenvolvimento que garanta a sustentabilidade da vida das gerações futuras implica em modificações, especialmente nas relações entre sociedade e natureza, de forma a prevenir a escassez e degradação dos recursos naturais, como também deve buscar soluções e alternativas para o seu uso, por meio de uma melhor eficiência, reutilização, substituição e economia desses recursos. Em resposta a este desafio, diversas iniciativas vêm sendo implementadas, nos mais diferentes níveis, para avaliar a performance do desenvolvimento (ISAIAS, 2008).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015), um dos desafios na construção do desenvolvimento sustentável é o de criar instrumentos de mensuração, tais como indicadores de desenvolvimento. Esses indicadores são conceituados como

ferramentas constituídas por uma ou mais variáveis que, associadas através de diversas formas, revelam significados mais amplos sobre os fenômenos a que se referem. Indicadores de desenvolvimento sustentável são

instrumentos essenciais para guiar a ação e subsidiar o acompanhamento e a avaliação do progresso alcançado rumo ao desenvolvimento sustentável (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2004, p. 10).

Portanto, os indicadores exercem função importante na geração de dados para a avaliação da sustentabilidade, descrevendo a dinâmica dos problemas existentes na área de interesse, indicando a direção, a prioridade das mudanças e transformando dados em informações relevantes para a construção de estratégias políticas e de planejamento que contribuam com um desenvolvimento sustentável (KEMERICH et al., 2013).

As informações obtidas por meio de indicadores deverão subsidiar as etapas de planejamento, implantação e acompanhamento das políticas de gestão ambiental voltadas ao uso racional dos recursos naturais e ao ordenamento das intervenções no meio ambiente. Portanto, a principal função dos indicadores de sustentabilidade é apoiar e otimizar o processo de tomada de decisão nos seus diferentes níveis mediante definição de políticas, objetivos e prioridades (COUTO, 2007).

Considerando que um índice é constituído por diversos indicadores e os indicadores são compostos por parâmetros e dados, os índices de sustentabilidade ambiental buscam medir, em nível ambiental, econômico e social, a degradação e o uso dos recursos naturais, fornecendo subsídios científicos para a decisão sobre a escala aceitável de uso de um recurso natural, de modo a minimizar o risco de perdas irreversíveis (MAYNARD; CRUZ; GOMES, 2014; ROMEIRO, 2004).

As bacias hidrográficas constituem as unidades naturais para informações hidrológicas, podendo, também, ser usadas como unidades naturais de manejo do solo, uma vez que nelas se observa a dependência de todos os componentes do crescimento e desenvolvimento da sociedade (ISAIAS, 2008). Segundo Ribeiro, A. L. (2002), a qualidade ambiental de uma bacia hidrográfica é possível de ser avaliada, contudo, deve ser definido um conjunto de indicadores específicos, derivado de um modelo de informação que represente a realidade da bacia.

Neste contexto, o desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade ambiental reveste-se de grande importância e deve considerar todos os fatores que influenciam a sustentabilidade da bacia hidrográfica, permitindo o detalhamento das características necessárias à análise desta, visto que eles atuam como base para análise do desenvolvimento que abrange diversas dimensões, incluídos fatores econômicos, sociais, geográficos e ambientais, permitindo a verificação dos impactos

das ações humanas sobre o ecossistema (CAMPOS; RIBEIRO; VIEIRA, 2014; SILVA; CORREIA; CÂNDIDO, 2010).

Um elemento de apoio a construção de indicadores de sustentabilidade ambiental é o geoprocessamento, caracterizado como um conjunto de tecnologias voltadas a coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico. As atividades que envolvem esse conceito são executadas por Sistemas de Informação Geográfica (SIG), caracterizados por integrar em uma base de dados única, informações espaciais provenientes de diversas fontes, como dados cartográficos, dados de censos, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno, que permitem a realização de análises complexas auxiliando à tomada de decisão sobre problemas urbanos, rurais e ambientais, baseado em tecnologias de custo relativamente baixo (CÂMARA; DAVIS, 2001; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2006).

Por meio dos indicadores ambientais, cria-se a possibilidade de analisar as condições e mudanças da qualidade ambiental, além de favorecer o entendimento das diversas interações da sustentabilidade, bem como as tendências, como uma ferramenta de suporte no processo de tomada de decisão e formulação de políticas e práticas sustentáveis. Portanto os indicadores têm como função diagnosticar a saúde do ecossistema e fornecer uma ferramenta para monitorar condições e mudanças ambientais ao longo do tempo (GOMES; MALHEIROS, 2012; JORGENSEN, 2005).

A partir da utilização dos indicadores de sustentabilidade, gera-se o índice de sustentabilidade, o qual é uma forma de sintetizar, matematicamente, uma série de informações quantitativas e semi-quantitativas, associadas à sustentabilidade do desenvolvimento. Cada índice, ao final, gerará um valor numérico, que será o resultado de operações matemáticas com as informações que utiliza, e que, quando comparado a uma escala padrão, avaliará a sustentabilidade (KRONENBERGER et al., 2008).

Observa-se que um dos maiores desafios enfrentados na quantificação ou qualificação da sustentabilidade consiste na elaboração de metodologias que permitam avaliar a sustentabilidade de realidades locais ou regionais, posto que existem diferentes características e peculiaridades inerentes aos aspectos sociais, econômicos, ambientais, culturais e institucionais. Na literatura existe uma grande variedade de métodos, modelos e parâmetros para inferir o desempenho do

desenvolvimento dito sustentável (KEMERICH; RITTER; BORBA, 2014; LIRA, 2008; VIEIRA; STUDART, 2009).

Turnes (2004) enumera algumas vantagens e limitações da aplicação de indicadores, sendo que, entre as vantagens, destaca-se a avaliação dos níveis de desenvolvimento sustentável, capacidade de sintetizar a informação de caráter técnico/científico, facilidade de transmissão da informação, uso como instrumento de apoio à decisão e aos processos de gestão ambiental, possibilidade de identificação de tendências e comparação com padrões ou metas pré-definidas.

Entre as limitações evidenciadas por Turnes (2004) inclui-se a inexistência de informações básicas, dificuldade na definição de expressões matemáticas que melhor traduzam os parâmetros selecionados, perda de informações nos processos de agregação dos dados, diferentes critérios na definição dos limites de variação do índice em relação às imposições estabelecidas, ausência de critérios robustos para seleção de alguns indicadores, limites humanos, financeiros e de tempo, além da dificuldade de aplicação em certas áreas.

Contudo, Gomes et al. (2000) destacam que os indicadores e índices apresentam várias aplicações, tais como:

- Avaliação de recursos e suporte de decisões, auxiliando gestores na atribuição de fundos, alocação de recursos naturais e determinação de prioridades;
- Classificação e comparação de condições em diferentes locais ou áreas geográficas;
- Análise de séries de dados para detectar tendências no tempo e no espaço;
- Informação ao público sobre os processos de desenvolvimento sustentável;
- Aplicações em desenvolvimentos científicos servindo de alerta para a necessidade de investigação científica mais detalhada.

O modelo Pressão-Estado-Resposta (PER) é o marco ordenador da análise de estatísticas e indicadores da área ambiental e do desenvolvimento sustentável. Este modelo foi adotado pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), baseado no conceito de causalidade, segundo o qual as atividades humanas exercem pressão sobre o ambiente, alterando a qualidade e a quantidade dos elementos naturais, ou seja, alterando o seu estado, já a sociedade responde a essas mudanças mediante políticas ambientais, econômicas ou setoriais

(CARVALHO; BARCELLOS, 2010; ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 1993).

Em 1995, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) aprimorou o modelo PER, acrescentando o elemento Impacto (que reflete os efeitos do estado do meio ambiente) e formulando o modelo Pressão-Estado-Impacto-Resposta (PEIR). Esse modelo objetiva retratar, de maneira simplificada, as pressões que as atividades humanas exercem sobre o meio ambiente, como estas alteram a qualidade dos recursos naturais, os impactos causados e a reação da sociedade frente a tais alterações (FERREIRA; LIRA; CÂNDIDO, 2010).

A metodologia PEIR objetiva entender quatro aspectos (PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE, 2002):

- As Pressões que as atividades humanas impõem sobre o meio ambiente por meio de suas atividades e processos;
- O Estado em que se encontra o Meio Ambiente, mostrando a condição atual em termo de qualidade ambiental e os aspectos quantitativos e qualitativos dos recursos naturais;
- Os Impactos causados pela atividade humano e suas consequências ou condição de saúde e bem-estar da população, economia, ecossistemas
- A Resposta da Sociedade às ações adotadas para mitigar, adaptar, prevenir, deter ou reverter impactos negativos sobre o meio ambiente, produzidos pelas atividades humanas.

De igual forma, diversos trabalhos são desenvolvidos no meio acadêmico e científico visando a elaboração de sistemas de indicadores voltados para a avaliação e compatibilização do modelo de desenvolvimento com a capacidade de suporte do meio ambiente às atividades antrópicas. Tais trabalhos constituem a expressão de diferentes concepções em relação a questão do desenvolvimento sustentável em bacias hidrográficas, dentre eles, Kronemberger, Carvalho e Clevelário Junior (2004), Couto (2007), Guimarães (2008), Isaias (2008), Campos, Ribeiro e Vieira (2013), Costa (2013), Kemerich et al. (2013), Kelniar, Kruger e Arantes (2016), Oliveira (2016), entre outros.

A instituição de um índice de sustentabilidade ambiental como uma ferramenta de gestão almeja subsidiar o processo de tomada de decisão, mediante avaliação de dados, convertendo-os em informações úteis e significativas, auxiliando

no gerenciamento dos recursos naturais e a formulação de políticas públicas (ISAIAS, 2008).

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU) os indicadores não devem servir apenas aos interesses do poder público, para avaliar a eficiência e eficácia das políticas adotadas, mas devem servir também aos interesses dos cidadãos, tornando-se instrumento de cidadania, pois estes podem refletir o estado do meio ambiente e da qualidade de vida (CÂMARA, 2002).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

O objetivo geral que orienta essa pesquisa consiste em determinar um índice de sustentabilidade ambiental para a bacia hidrográfica do rio do Campo, apoiando-se em geotecnologias e em técnicas de análise quantitativa. Isto posto, foram desenvolvidos os procedimentos necessários para alcançar essa finalidade, tendo como base o índice e os indicadores propostos por Couto (2007).

A seleção dos dados utilizados, bem como a sua forma de integração nos métodos empregados, procurou refletir as diferentes dimensões envolvidas na questão do desenvolvimento e da sustentabilidade ambiental. Para tanto, Couto (2007) buscou seguir as recomendações presentes na Agenda 21 das Nações Unidas, bem como adotar os princípios metodológicos propostos pelo modelo Pressão-Estado-Impacto-Resposta da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) voltado para elaboração de um conjunto de indicadores e índices de sustentabilidade ambiental.

### 4.1 Área de estudo

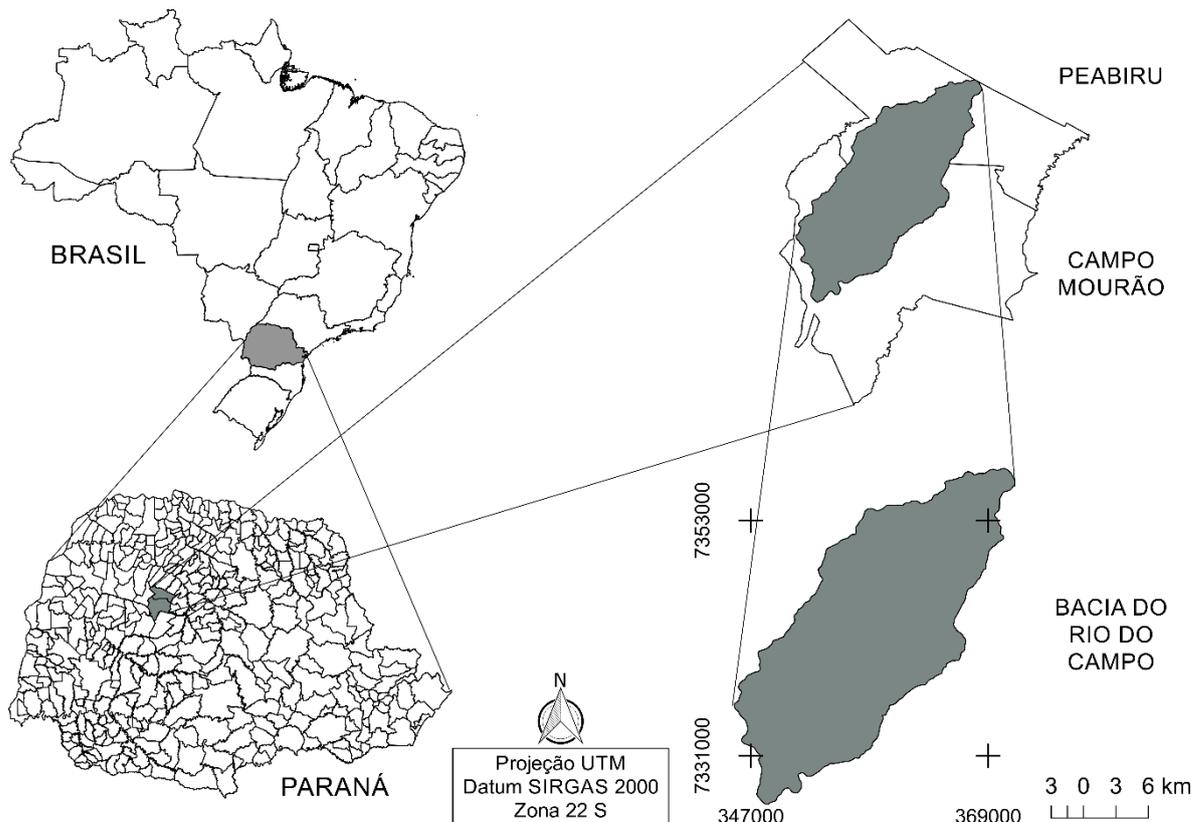
A bacia hidrográfica do rio do Campo ocupa uma área de aproximadamente 383 km<sup>2</sup>, sendo 238 km<sup>2</sup> no município de Campo Mourão e 145 km<sup>2</sup> no município de Peabiru, no estado do Paraná (Figura 1), fazendo parte do sistema hidrográfico da bacia do Rio Mourão, que por sua vez integra a bacia hidrográfica do Rio Ivaí. A área de estudo compõe a unidade morfoestrutural Bacia Sedimentar do Paraná, pertencendo a unidade morfoescultural Terceiro Planalto Paranaense, integrando a unidade morfológica Planalto de Campo Mourão, entre as coordenadas 23° 53' e 24° 10' de latitude Sul e 52° 15' e 52° 31' de longitude Oeste (CRISPIM et al., 2012; OKAFIORI; SANTOS, 2006), compreendendo extensão de 38 km no sentido norte a sul.

A bacia apresenta características geológicas de derrames basálticos do período Mesozoico pertencendo ao Grupo São Bento e Formação Serra Geral, possuindo ainda influência de depósitos sedimentares constituídos predominantemente por arenitos do Grupo Bauru, Formação Caiuá. Os latossolos vermelhos e argissolos vermelhos são os principais tipos de solo encontrados na área da bacia (CARVALHO et al., 2015; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2007; MINEROPAR, 2006).

O clima da região é Cfa: subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e geadas pouco frequentes, precipitação concentrada nos meses de verão, sem estação seca bem definida. A temperatura do mês mais frio varia de 18 °C a -3 °C e a média do mês mais quente é de 22 °C. Em média, os índices de precipitação são de 1400 mm a 1500 mm por ano. Com relação as características fitogeográficas, a área apresenta um ecótono de transição entre as Florestas Estacional Semidecidual Montana e Ombrófila Mista Montana, com encraves de Cerrado (INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS, 2009; KÖEPPEN, 1948; MAACK, 2002).

A área de estudo reveste-se de grande importância para a região, principalmente para o município de Campo Mourão, visto que a bacia hidrográfica do rio do Campo contribui com o abastecimento de água da população e recebe carga de efluentes do tratamento de esgoto.

**Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio do Campo, Paraná, Brasil**



**Fonte: Autoria própria**

**Base cartográfica: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2014, 2015)**

## 4.2 Banco de dados

A obtenção do índice de sustentabilidade ambiental compreendeu inicialmente a criação de um banco de dados para reunir as informações essenciais às análises pretendidas. Os procedimentos para aquisição e preparação dos dados utilizados repercutem diretamente na consistência das informações, ou seja, na sua qualidade.

As atividades voltadas à preparação da base de dados utilizada na geração dos planos de informação ou *layers*, que dão suporte ao cálculo do índice de sustentabilidade, envolveram a revisão e compatibilização da base cartográfica, bem como o processo de seleção dos setores censitários e critérios utilizados para obtenção dos dados provenientes desses elementos (COUTO, 2007).

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizado para processamento e integração dos dados foi o *software* QGIS 2.14.12-Essen (EQUIPE DE DESENVOLVIMENTO QGIS, 2016), em função da diversidade de ferramentas propícias para auxiliar na composição do índice de sustentabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio do Campo, bem como pela licença de uso gratuita.

### 4.2.1 Obtenção e tratamento do SRTM

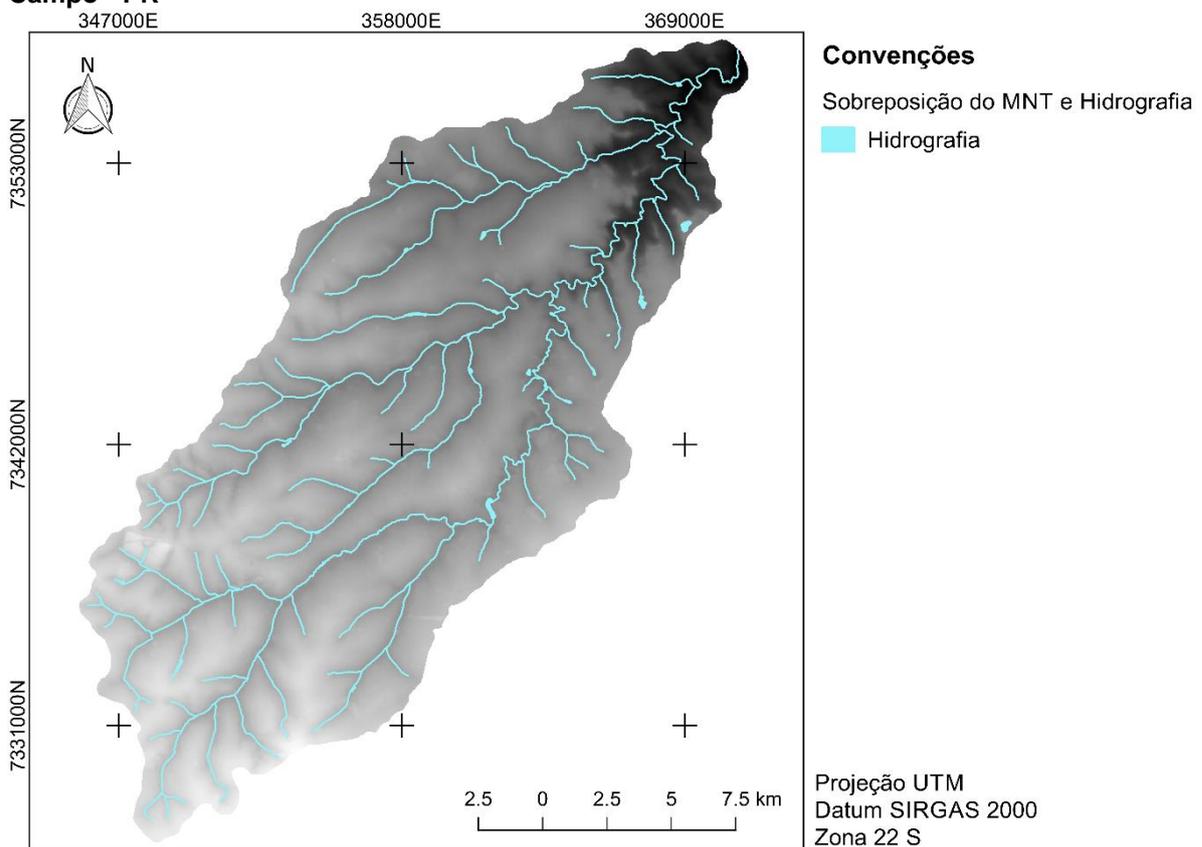
Tendo-se em vista a necessidade de geração de um modelo numérico de terreno (MNT), o qual foi utilizado para o cálculo de variáveis morfométricas, relativas à amplitude altimétrica dos canais e do índice de rugosidade das sub-bacias, para posteriormente serem empregadas no cálculo do índice de sustentabilidade, foi necessário um processo de adequação das imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) da área de estudo. As imagens possuem resolução espacial de 30 (trinta) metros, obtidas da base de dados da Pesquisa Geológica dos Estados Unidos (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2016), por meio da reprojeção da imagem para o sistema de coordenadas planas e alteração da tipologia do dado para número inteiro, visando a facilidade do trabalho, que gerou a base de apoio para a delimitação da bacia hidrográfica.

O MNT permite a geração de planos de informação auxiliares, como a declividade da área de estudo e obtenção das curvas de nível, por meio de

ferramentas do *software* QGIS 2.14.12 de Análise do Terreno e Extração do Contorno, respectivamente.

Entre os planos de informação que compõe o banco de dados, há ainda, a hidrografia da bacia do rio do Campo, obtida do estudo realizado por Graça et al. (2015). Com o objetivo de complementar e corrigir a hidrografia, realizou-se análise visual dos canais, em sobreposição, primeiramente, ao modelo numérico de terreno (Figura 2). Utilizou-se o programa SAS Planet (EQUIPE DE DESENVOLVIMENTO SAS Planet, 2017) para exportar a imagem de satélite da área de estudo, fornecida pelo serviço de mapas *Bing Maps – satellite*, para visualização no *software* QGIS 2.14.12, confirmando a trajetória dos canais.

**Figura 2 - Sobreposição entre o modelo numérico de terreno e a hidrografia da bacia do rio do Campo - PR**



**Fonte: Autoria própria**

**Base cartográfica: Graça et al. (2015) e United States Geological Survey (2016)**

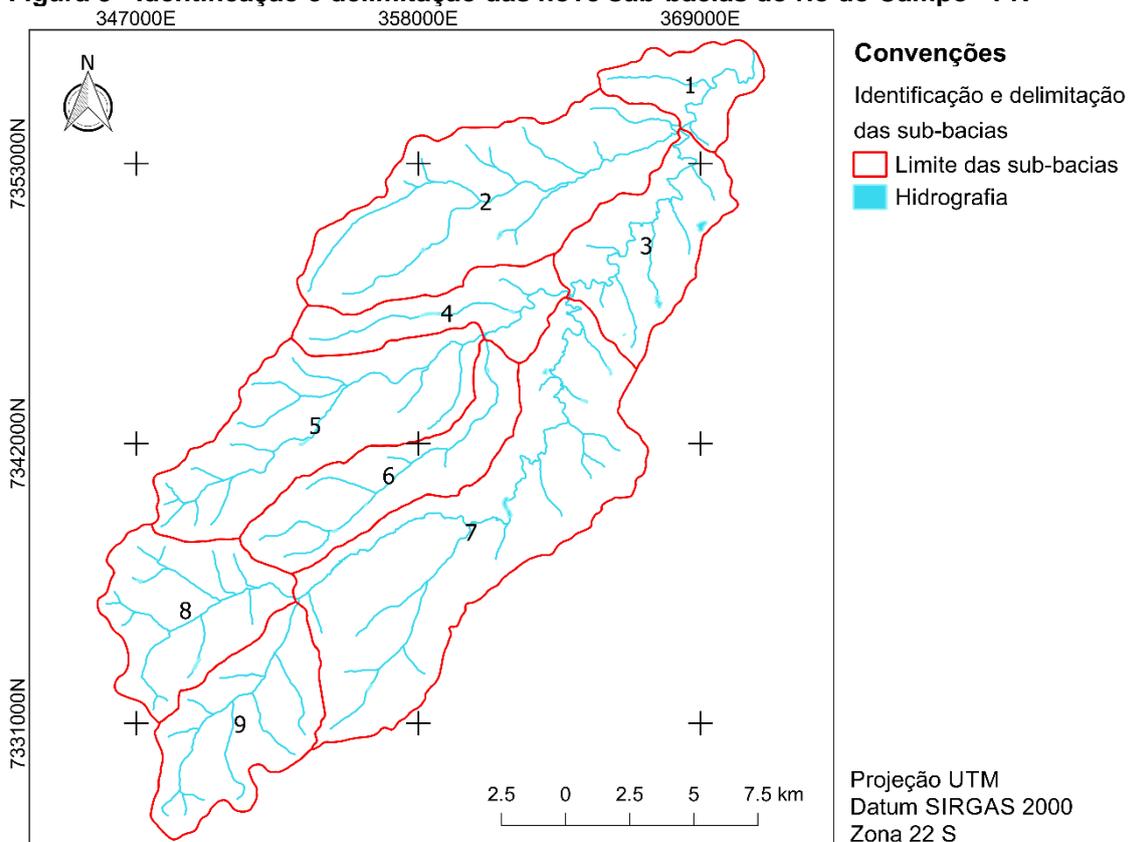
#### 4.2.2 Delimitação da bacia e sub-bacias

A delimitação da bacia hidrográfica foi efetuada com base no Modelo Numérico de Terreno (MNT), interpretado no *software* QGIS 2.14.12, por meio de

ferramentas do complemento GRASS, resultando em uma área de aproximadamente 383 km<sup>2</sup>. Este complemento permite a delimitação da bacia, mediante utilização do módulo Modelamento Hidrológico e função Análise de bacias hidrográficas (*r.watershed*), o qual realiza a delimitação a partir do MNT e da estimativa do número mínimo de *pixels* por bacia.

Para obtenção das sub-bacias, a mesma ferramenta executa a análise com base na estimativa do número mínimo de *pixels* para cada sub-bacia, sendo que quanto maior o número determinado, menor será o número de sub-bacias resultantes. Utilizou-se um valor limitante de 9000 (nove mil) *pixels* para obtenção de 9 (nove) sub-bacias (Figura 3). O resultado é gerado no formato *raster*, sendo posteriormente convertido para o formato vetorial, possibilitando a revisão da delimitação obtida por meio da análise visual das curvas de nível, geradas a partir do MNT, para edição e correção dos polígonos quando necessário.

**Figura 3 - Identificação e delimitação das nove sub-bacias do rio do Campo - PR**



**Fonte: Autoria própria**  
**Base de dados de Graça et al. (2015)**

#### 4.2.3 Mapa de cobertura e uso da terra

O método de classificação supervisionada é um processo de decisão com o objetivo de tornar o mapeamento menos subjetivo e com maior potencial de repetição, visando ainda, o reconhecimento automático de objetos em função de um determinado critério de decisão, que apresentam características espectrais similares, resultando em um mapa temático. Permite substituir as técnicas de análise visual de imagens por algoritmos que automatizem o processo de identificação dos objetos (CONGEDO, 2017; SILVA; PEREIRA, 2007).

O mapa de cobertura e uso da terra foi gerado a partir do complemento *Semi-Automatic Classification Plugin*, do software QGIS 2.14.12, que possibilita a classificação supervisionada, *pixel a pixel*, de imagens capturadas por diversos satélites, entre eles, o Landsat 8 OLI (bandas 2 a 7).

A classificação supervisionada, consiste no fornecimento de amostras espectrais homogêneas e representativas das classes, cabendo ao algoritmo utilizado a tarefa de localizar todos os demais *pixels* pertencentes a essas classes, baseado em uma regra pré-estabelecida (SILVA; PEREIRA, 2007).

Para este fim, a área e época de interesse são abrangidas na imagem Landsat 8 OLI, órbita 223, cena 77, de 11 de julho de 2013, com resolução espacial de 30 metros, obtidas da base de dados da Pesquisa Geológica dos Estados Unidos (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2016).

Para as etapas de pré-processamento, as imagens foram ajustadas para a reflectância de superfície, assim como realizou-se a correção atmosférica antes do início dos processos. Um retângulo envolvente foi gerado para a extensão da camada da bacia hidrográfica e utilizado como máscara para o recorte das imagens corrigidas. Criou-se então um *band set*, uma única imagem com todas as seis bandas, o qual permite a composição da imagem com diferentes combinações de bandas, finalizando a etapa de pré-processamento da imagem.

A primeira etapa da classificação consiste em definir categorias de interesse por meio da seleção de amostras, a partir da criação de um arquivo de treinamento que contém as assinaturas espectrais dos alvos vinculados à macroclasses e classes. Neste trabalho foram criadas categorias de macroclasses de acordo com o Manual Técnico de Uso da Terra (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E

ESTATÍSTICA, 2013): Áreas de Vegetação Natural, Áreas Antrópicas Agrícolas, Áreas Antrópicas Não Agrícolas e Outras áreas.

Após a coleta de amostras de treinamento, adotou-se o método da Distância Euclidiana ou Distância Mínima (*Minimum distance*) para classificação da área de estudo. O método da Distância Euclidiana utiliza apenas a informação da média das classes espectrais, sendo que a categoria do *pixel* é atribuída à classe cuja média está mais próxima (CARVALHO JUNIOR et al., 2009).

Uma certa quantidade de erros podem ocorrer na classificação da cobertura e uso da terra por *pixels* atribuídos a uma classe de cobertura errada, devido à similaridade espectral das classes, ou ainda, definição errada de classe durante a coleta de amostras de treinamento.

Portanto, é útil avaliar a acurácia da classificação, buscando identificar e medir os erros do mapa. Normalmente, a avaliação da acurácia é realizada com o cálculo de uma matriz de erro ou matriz de confusão, que é uma tabela que compara as informações do mapa com dados de referência para um número de áreas amostrais (CONGALTON; GREEN, 2008; ROSENFELD; FITZPATRICK-LINS, 1986).

A classificação foi realizada com objetivo de categorizar a cobertura e o uso da terra na bacia hidrográfica em estudo, a fim de obter as informações necessária à determinação do fator de uso do solo – FUS.

Para aferir os resultados, a acurácia geral da classificação e o coeficiente Kappa foram calculados a partir da matriz de confusão gerada pelo complemento *Semi-Automatic Classification Plugin*. Assim como a acurácia geral, o coeficiente Kappa quantifica a concordância entre a escolha de amostras de treinamento e a escolha feita de forma aleatória, incluindo neste cálculo um fator que subtrai a interferência do acaso (ROSENFELD; FITZPATRICK-LINS, 1986).

Obteve-se a acurácia de classificação, calculada pelo *plugin*, de 87,33%, já o coeficiente Kappa foi de 0,8530. Landis e Koch (1977, p. 165) associam valores de coeficiente Kappa à qualidade da classificação, sendo considerada uma classificação "*almost perfect*" (quase perfeita) quando o índice se situa entre 0,81 a 1,00.

#### 4.2.4 Preparação dos setores censitários

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011) disponibiliza arquivos vetoriais com a divisão dos municípios e dos setores censitários, contendo os dados

do censo demográfico de 2010, os quais foram utilizados para identificação dos setores censitários que compõe a bacia em estudo, bem como a definição dos setores considerados para cada sub-bacia, compondo assim, a base de dados.

Para o cálculo do fator de desenvolvimento humano - FDH foram utilizados os setores censitários dos municípios pertencentes a área da bacia hidrográfica do rio do Campo, sendo eles, Campo Mourão e Peabiru. Estes dados foram obtidos da Base de Informações por Setor Censitário do Censo Demográfico do ano de 2010: Resultados do Universo, disponibilizados em formato “*shapefile*”. Os dados de interesse do Censo Demográfico (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2011) foram organizados em formato “*shapefile*” e em tabelas eletrônicas no formato “*xml*”.

O processo de seleção dos setores censitários visa o descarte daqueles que ficaram fora da área da bacia. Para os setores que ficaram na fronteira foram utilizados os critérios empregados por Couto (2007, p. 119), “excluir setores com menos de 25% de sua área no interior da bacia e mantendo aqueles cuja exclusão criaria uma descontinuidade espacial importante na composição geral”.

Após selecionados os setores, fez-se necessário identificar os polígonos pelo código do setor censitário, o qual consiste em um número atribuído pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. A partir da identificação dos códigos foi possível extrair os dados de interesse das tabelas eletrônicas, identificando as planilhas de interesse de acordo com a Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2011).

O SIG utilizado, *software* QGIS 2.14.12, possibilitou o tratamento dos dados necessários à obtenção do índice de sustentabilidade ambiental, bem como a elaboração dos mapas que auxiliam na interpretação dos resultados obtidos.

### **4.3 Índice de sustentabilidade**

O índice de sustentabilidade utilizado neste estudo consiste em uma adaptação da proposta de Couto (2007), considerando a disponibilidade de dados para a área de estudo, sendo constituído de três dimensões que caracterizam o uso e ocupação do solo (fator de uso do solo), a condição física da área (fator de fragilidade potencial) e a condição de desenvolvimento humano (fator de

desenvolvimento humano). Os fatores refletem os aspectos propostos no modelo de avaliação PEIR (Pressão - Estado - Impacto - Resposta), recomendado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE).

O fator de uso do solo corresponde às pressões exercidas pelo modelo de desenvolvimento, o fator de fragilidade potencial corresponde ao estado do meio ambiente, e o fator de desenvolvimento humano corresponde tanto ao impacto do modelo de desenvolvimento adotado sobre a sociedade, como ao efeito das ações desencadeadas. A essas três dimensões atribuiu-se pesos iguais para composição do índice e utilizou-se a bacia hidrográfica como unidade básica de análise, sendo o índice de sustentabilidade a média das três dimensões (COUTO, 2007).

O índice de sustentabilidade proposto, se caracteriza como um índice sintético, composto por doze indicadores divididos em três fatores. Esses indicadores foram transformados em índices e, então, agregados. Em seguida, os fatores foram associados por meio da aplicação de uma média aritmética, formando o índice sustentabilidade ambiental (Figura 4).

O índice de sustentabilidade (IS) foi calculado por sub-bacia (Equação 1) e para a bacia do rio do Campo (Equação 2), sendo expresso na forma de um número entre zero e um, onde quanto mais próximo da unidade melhor a condição de sustentabilidade da bacia. O índice de sustentabilidade das sub-bacias permitiu a identificação das áreas mais críticas no âmbito da bacia.

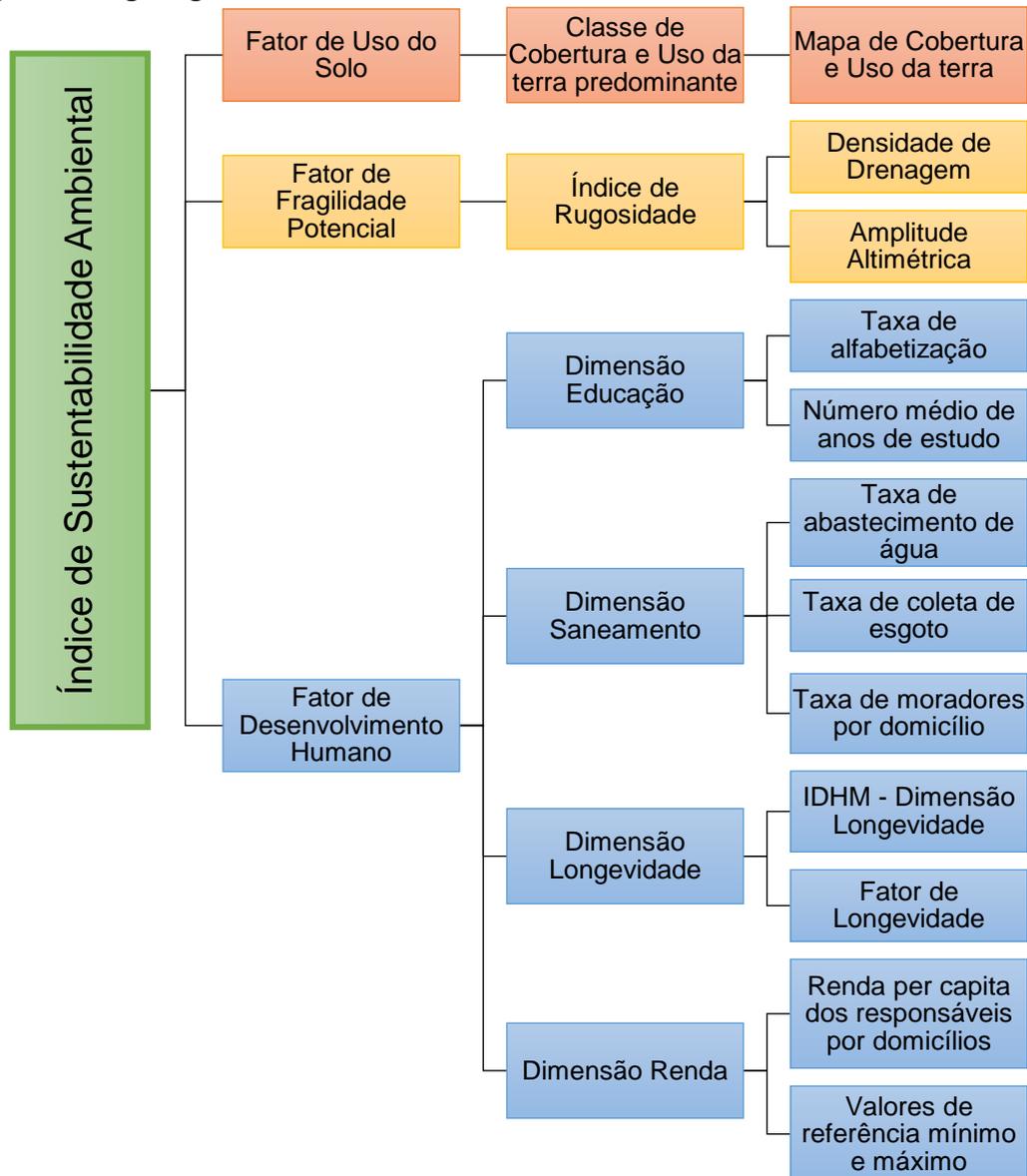
$$IS_{sb} = \frac{FUS + FFP + FDH}{3} \quad (1)$$

em que  $IS_{sb}$  é o índice de sustentabilidade das sub-bacias, sendo  $0 \leq IS \leq 1$ ; FUS é o fator de uso do solo; FFP é o fator de fragilidade potencial; FDH é o fator de desenvolvimento humano.

$$IS_b = \frac{\sum_{i=1}^n IS_{sb}}{n} \quad (2)$$

em que  $IS_b$  é o índice de sustentabilidade da bacia, sendo  $0 \leq IS \leq 1$ ;  $IS_{sb}$  é o índice de sustentabilidade das sub-bacias;  $n$  é o número de sub-bacias.

**Figura 4 - Organograma do Índice de Sustentabilidade Ambiental**



**Fonte: Autoria própria**

#### 4.3.1 Cálculo do fator de uso do solo

O mapeamento e classificação da cobertura e uso da terra forneceu as informações necessárias à composição do fator de uso do solo (FUS). A cada tipo de uso da terra identificado atribuiu-se um peso de acordo com os impactos que o mesmo gera no meio ambiente. Para cada sub-bacia foi atribuído um valor, com base na classe de uso predominante (COUTO, 2007).

Os dados de cobertura e uso da terra consideram o grau de proteção e a susceptibilidade aos processos erosivos em cada classe. Em função disso, atribuiu-se peso maior para áreas que sofrerem menor interferência antrópica e receberam

pesos menores as áreas de ocupação urbana ou onde sua pressão é mais intensa. Assim, o FUS é determinado pelo peso atribuído a classe de cobertura e uso da terra predominante em cada sub-bacia (Equação 3).

$$FUS = S_{sb} \quad (3)$$

em que  $S_{sb}$  é o peso atribuído a classe de uso da terra predominante na sub-bacia, sendo  $0 \leq S \leq 1$ .

Os valores atribuídos às classes de uso da terra para determinação do FUS seguem proposta de Couto (2007) adaptada ao número de classes identificadas na área de estudo (Tabela 1).

**Tabela 1 - Peso atribuído por Classe de Uso da Terra**

Classes de Cobertura e Uso da terra nos Níveis I e II <sup>1</sup>		Peso
Nível I	Nível II	
Áreas de Vegetação Natural	Floresta	1,00
Áreas Antrópicas Agrícolas	Silvicultura e Cultura Permanente	0,775
Áreas Antrópicas Agrícolas	Pastagem e Cultura Temporária	0,55
Outras áreas	Área Descoberta	0,325
Áreas Antrópicas Não Agrícolas	Área Urbana	0,10

Fonte: Adaptado de Couto (2007)

<sup>1</sup>Manual Técnico de Uso da Terra (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2013)

#### 4.3.2 Cálculo do fator de fragilidade potencial

O emprego de dados morfométricos possibilita agregar aspectos físicos da bacia ao conjunto de dados utilizados na avaliação da sustentabilidade. No cálculo desse fator considerou-se a amplitude altimétrica por sub-bacia, que consiste na diferença entre a altitude da sua desembocadura e o seu ponto mais alto e a densidade de drenagem, que correlaciona o comprimento total dos canais com a área da sub-bacia, gerando o índice de rugosidade, mediante combinação de elementos de declividade e densidade de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Os valores desse fator foram calculados a partir do modelo numérico de terreno obtido da imagem SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), no software QGIS 2.14.12.

A determinação do fator de fragilidade potencial (FFP) se deu em função do cálculo do índice de rugosidade (Equação 4, 5 e 6), ao qual atribuiu-se pesos.

$$FFP = R_{sb} \quad (4)$$

$$Ir = H_{sb} \times Dd \quad (5)$$

$$Dd = \frac{L_t}{A_{sb}} \quad (6)$$

em que  $R_{sb}$  é o peso atribuído ao índice de rugosidade da sub-bacia, sendo  $0 < R < 1$ ;  $Ir$  é o índice de rugosidade da sub-bacia;  $H_{sb}$  é a amplitude altimétrica da sub-bacia;  $Dd$  é a densidade de drenagem na sub-bacia;  $A_{sb}$  é a área da sub-bacia;  $L_t$  é o comprimento total dos canais por sub-bacia.

As faixas de rugosidade relacionadas aos pesos foram adaptadas de Couto (2007), sendo classificadas com base nos resultados obtidos para as sub-bacias (Tabela 2).

**Tabela 2 - Peso atribuído por Classe de Rugosidade**

Classe de Rugosidade	Peso
Muito forte	0,20
Forte	0,40
Média	0,60
Fraca	0,80
Muito fraca	1,00

Fonte: Adaptado de Couto (2007)

#### 4.3.3 Cálculo do fator de desenvolvimento humano

O fator de desenvolvimento humano (FDH) foi obtido por meio de uma adaptação do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) e informações do Censo Demográfico do ano 2010 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2011; PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO, 2013).

Seguindo a proposta de Couto (2007), o IDHM foi adaptado de forma a incluir a dimensão saneamento, que envolve o uso de recursos hídricos e a sustentabilidade de uma área, sobretudo considerando a situação socioeconômica das comunidades, sendo composto ainda pelas dimensões educação, longevidade e renda (Equação 7).

$$FDH = \frac{IDH_E + IDH_S + IDH_L + IDH_R}{4} \quad (7)$$

em que IDH<sub>E</sub> é a dimensão educação; IDH<sub>S</sub> é a dimensão saneamento; IDH<sub>L</sub> é a dimensão longevidade; IDH<sub>R</sub> é a dimensão renda.

O FDH possuiu como unidade básica de análise o setor censitário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística que foi compatibilizado com a unidade sub-bacia para fins de coerência dimensional com relação aos outros dois fatores que compõem o índice.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011, p. 4), “o setor censitário é a menor unidade territorial, formada por área contínua, integralmente contida em área urbana ou rural, com dimensão adequada à operação de pesquisas”.

Para a compatibilização dos setores censitários com as sub-bacias, definiu-se que um setor pertencia a uma sub-bacia quando mais de 50% desse setor encontrava-se inserido nos seus limites. A complexidade quanto a esta compatibilização deve-se ao fato de não haver nenhuma relação entre os setores censitários e a bacia hidrográfica, visto que o setor é apenas uma entidade de caráter burocrático utilizada para o levantamento de dados, já a bacia constitui uma entidade física (COUTO, 2007).

Portanto, torna-se imprescindível o estabelecimento de critérios para a compatibilização, de acordo com Couto (2007), são eles:

- Nenhuma sub-bacia ficaria sem ao menos um setor censitário;
- Não seria permitida a descontinuidade da malha de setores no interior da bacia, a não ser quando isso ocorresse em seus limites de forma a não comprometer o trabalho;
- Somente seriam considerados aqueles setores com mais de 20% de sua área no interior da bacia, a não ser quando sua exclusão compromettesse a malha de setores censitários;
- Os dados dos setores censitários não seriam divididos entre duas sub-bacias, mesmo quando o setor abranger mais de uma sub-bacia, devendo ser aproveitados de forma integral na bacia de maior dimensão, ou naquela com o menor número de setores.

As unidades analisadas foram classificadas de acordo com as cinco faixas de desenvolvimento humano municipal: muito baixo (menor que 0,499), baixo (entre 0,500 e 0,599), médio (entre 0,600 e 0,699), alto (entre 0,700 e 0,799) e muito alto

(maior ou igual a 0,800) (PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO, 2013) (Tabela 3).

**Tabela 3 - Faixas atribuídas por Classe de Desenvolvimento Humano**

<b>Classes de Desenvolvimento Humano</b>	<b>Faixa</b>
Muito alto	$\geq 0,800$
Alto	0,700 – 0,799
Médio	0,600 – 0,699
Baixo	0,500 – 0,599
Muito baixo	$\leq 0,499$

**Fonte: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (2013)**

A dimensão educação ( $IDH_E$ ) considerou a taxa de alfabetização da população e o número médio de anos de estudo dos responsáveis pelos domicílios particulares permanentes (Equação 8).

$$IDH_E = (TA \times 0,60) + (AE \times 0,40) \quad (8)$$

em que TA é a taxa de alfabetização, sendo  $0 \leq TA \leq 1$ ; AE é o número médio de anos de estudo, sendo  $0 \leq AE \leq 1$ .

A taxa de alfabetização corresponde ao número de habitantes com mais de quinze anos alfabetizados, dividido pelo número de habitantes com mais de quinze anos, correspondendo a 60% na composição do  $IDH_E$ . O número médio de anos de estudo dos responsáveis por domicílios é a soma do número de anos de estudo de cada um, dividido pelo número de responsáveis por domicílios, esse total é dividido pelo número de anos considerado como 100%, totalizando 16 anos (COUTO, 2007; PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO, 2013). Considerou-se o número médio de anos de estudo dos municípios na composição desta dimensão devido à ausência de dados por setor censitário.

O número de anos de estudo dos responsáveis pelos domicílios é considerado um bom indicativo do número de anos de estudo pretendido aos dependentes menores, correspondendo a 40% na composição do  $IDH_E$  (COUTO, 2007).

A dimensão saneamento ( $IDH_S$ ) considerou a taxa de abastecimento de água, a taxa de coleta de esgotos e a taxa de moradores por domicílio conforme proporções estabelecidas por Couto (2007) (Equação 9).

$$IDH_S = (T_{AA} \times 0,5) + (T_{CE} \times 0,4) + (T_{MD} \times 0,1) \quad (9)$$

em que IDHs é a dimensão saneamento;  $T_{AA}$  é a taxa de abastecimento de água, sendo  $0 \leq T_{AA} \leq 1$ ;  $T_{CE}$  é a taxa de coleta de esgotos, sendo  $0 \leq T_{CE} \leq 1$ ;  $T_{MD}$  é a taxa de moradores por domicílio, sendo  $0 \leq T_{MD} \leq 1$ .

Essa dimensão foi determinada pela taxa de domicílios abastecidos pela rede pública de água correspondendo a 50% na composição do índice, pela taxa de domicílios com coleta de esgotos correspondendo a 40% na composição do índice e pela média de moradores por domicílio correspondendo a 10% na composição do índice (COUTO, 2007).

A taxa de abastecimento de água é a razão entre o número de domicílios particulares permanentes abastecidos com água da rede geral e o número total de domicílios particulares permanentes do setor censitário.

A taxa de coleta de esgotos é a razão entre o número de domicílios particulares permanentes com esgoto coletado e o número total de domicílios particulares permanentes com banheiro ou sanitário do setor censitário.

A taxa de moradores por domicílio é a razão entre número de moradores em domicílios particulares permanentes e o número de domicílios particulares permanentes. Seguindo o método proposto por Couto (2007), a exemplo do Índice de Desenvolvimento Socioeconômico (IDESE) da Fundação de Economia e Estatística, do estado do Rio Grande do Sul, foram considerados limites para essa taxa, sendo o limite inferior 6 moradores e o limite superior 1 morador por domicílio, desta forma sempre que a taxa apresentasse um valor abaixo do limite inferior estabelecido assumiria o valor zero e sempre que a taxa apresentasse um valor acima do limite superior estabelecido assumiria o valor um.

A dimensão longevidade considerou o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal relativo a longevidade e o fator de longevidade (Equação 10).

$$IDH_L = IDHM_L \times FL \quad (10)$$

em que  $IDH_L$  é a dimensão longevidade;  $IDHM_L$  é o índice de desenvolvimento humano municipal, dimensão longevidade.

De acordo com Couto (2007), o fator de longevidade considera o número de habitantes do setor censitário que ultrapassa a esperança de vida ao nascer (EVN) do

município em anos, o quanto ultrapassa e em quais setores a população não alcança esse valor, com base nas seguintes considerações:

- o setor não alcança a EVN estimada para o município, então  $FL = 0$ ;
- o setor alcança a EVN estimada para o município mas não ultrapassa, então  $FL = 1$  e  $IDH_L = IDH_{ML}$ ;
- o setor ultrapassa a EVN estimada para o município, então FL irá majorar o valor do  $IDH_{ML}$ .

O cálculo do fator de longevidade adotou como base o quanto, em média, o setor censitário ultrapassa a EVN estimada para o município ao qual pertence (Equação 11 e 12).

$$EVN_+ = \frac{\sum (n^\circ \text{ hab que ultrapassa EVN} \times \text{idade})}{n^\circ \text{ hab que ultrapassa EVN}} \quad (11)$$

$$FL = 1 + \frac{(EVN_+) - (EVN)}{EVN} \quad (12)$$

em que  $EVN_+$  é a média de idade acima da EVN verificada para cada setor do município, de acordo com a EVN estimada para cada município; FL é o percentual que a  $EVN_+$  significa em termos de EVN, ou seja, o percentual a majorar no  $IDH_{ML}$  se o setor superar a EVN estimada para o município.

A dimensão renda considerou a renda per capita dos responsáveis por domicílios particulares permanentes e valores de referência mínimo (R\$8,00) e máximo (R\$4.033,00), de acordo com os padrões apresentados pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (2013), cotação do dia 1º de agosto de 2010 (Equação 13).

$$IDH_R = \frac{(\log rdpp) - (\log VR_{Min})}{(\log VR_{Máx}) - (\log VR_{Min})} \quad (13)$$

em que  $IDH_R$  é a dimensão renda;  $rdpp$  = renda per capita dos responsáveis por domicílios particulares permanentes;  $VR_{Min}$  é o valor de referência mínimo;  $VR_{Máx}$  é o valor de referência máximo.

O logaritmo é usado para expressar melhor o fato de que um acréscimo de renda para os mais pobres é proporcionalmente mais relevante do que para os mais ricos (COUTO, 2007).

Após a obtenção dos valores referentes as quatro dimensões consideradas pelo FDH, estes foram inseridos na fórmula geral (Equação 7) a fim de se obter o valor final referente ao FDH das sub-bacias, para então agregar os resultados dos demais fatores considerados no estudo, FUS e FFP, visando a determinação do índice de sustentabilidade ambiental de cada sub-bacia, bem como o índice de sustentabilidade ambiental da bacia do rio do Campo em sua totalidade.

Com base nos resultados obtidos foi possível identificar os níveis de sustentabilidade e áreas críticas dentro da bacia, com relação à sustentabilidade, dando suporte ao planejamento e gerenciamento da área de estudo.

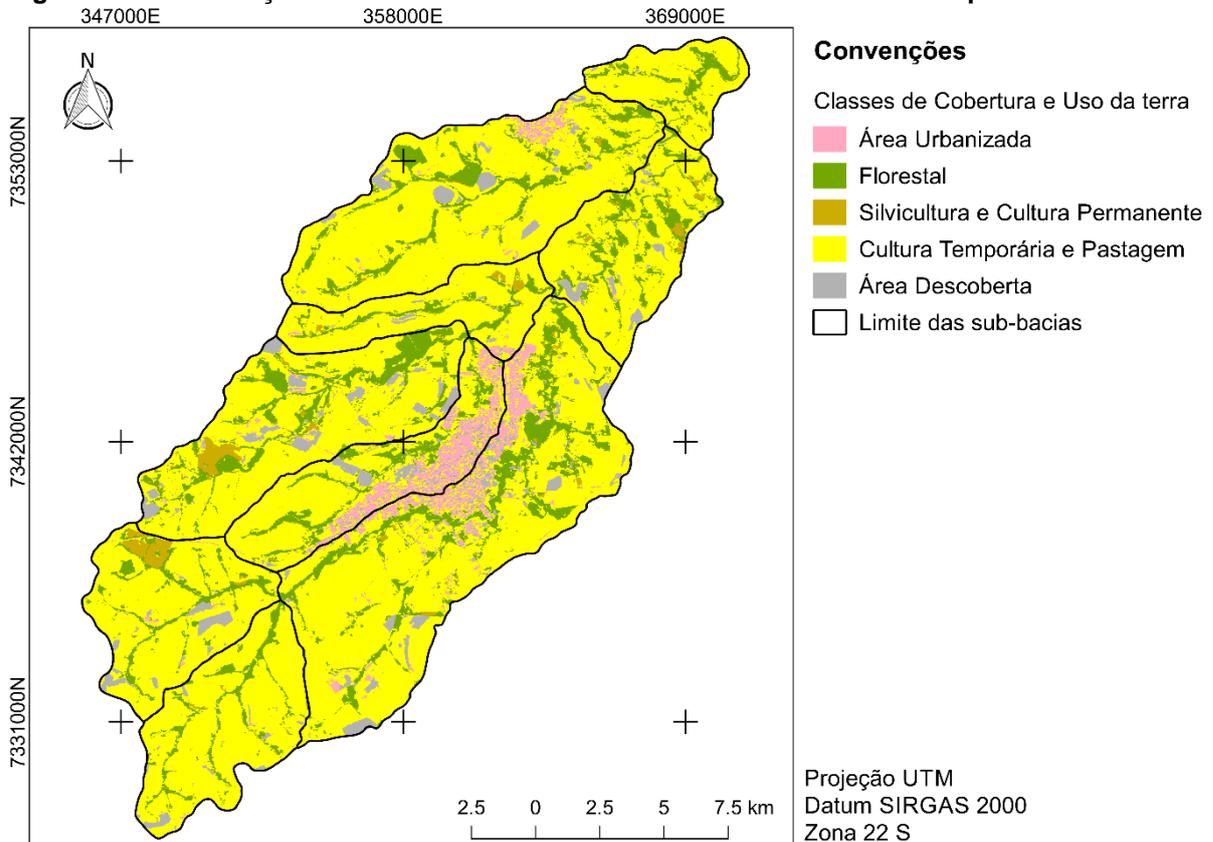
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da obtenção dos dados, referentes a cada variável que compõe os três fatores em estudo, foi possível agregar os resultados, visando a obtenção do índice de sustentabilidade ambiental de cada sub-bacia e da bacia do rio do Campo em sua totalidade.

### 5.1 Fator de uso do solo

A identificação da cobertura e uso da terra na bacia em estudo foi dividida em cinco classes, sendo observado a predominância da classe de culturas temporárias e pastagens em toda sua extensão (74,41%), além do predomínio em todas as sub-bacias, atribuindo-se ao fator de uso do solo o peso 0,55 (Figura 5; Tabela 4). As áreas antrópicas não agrícolas (áreas urbanas) compuseram 4,61% da área da bacia do rio do Campo.

**Figura 5 - Classificação da Cobertura e uso da terra na bacia do rio do Campo - PR**



Fonte: Autoria própria

Base cartográfica: Landsat 8 OLI, 11 jun. 2013 (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2016)

**Tabela 4 - Fator de uso do solo atribuído as sub-bacias do rio do Campo - PR, de acordo com a classe predominante de cobertura e uso da terra**

Sub-bacia	Classe de uso predominante	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)	FUS
1	Cultura Temporária e Pastagem	12,11	79,99	0,55
2	Cultura Temporária e Pastagem	53,86	80,04	0,55
3	Cultura Temporária e Pastagem	23,80	74,33	0,55
4	Cultura Temporária e Pastagem	17,91	81,93	0,55
5	Cultura Temporária e Pastagem	37,50	79,57	0,55
6	Cultura Temporária e Pastagem	17,27	52,91	0,55
7	Cultura Temporária e Pastagem	65,17	71,85	0,55
8	Cultura Temporária e Pastagem	27,18	77,86	0,55
9	Cultura Temporária e Pastagem	30,20	85,72	0,55

Fonte: Autoria própria

Segundo estudo realizado por Silva (2014) na área drenada pelo alto curso do rio do Campo, esta possui 74% de sua ocupação com agricultura, corroborando com os resultados obtidos através do mapa de cobertura e uso da terra.

## 5.2 Fator de fragilidade potencial

A apuração do fator de fragilidade potencial foi realizada a partir do levantamento das variáveis morfométricas da bacia hidrográfica, tais como a área total das sub-bacias, comprimento dos canais e amplitude altimétrica. A partir da obtenção destas variáveis morfométricas, foi possível calcular a densidade de drenagem e o índice de rugosidade topográfica para cada uma das nove sub-bacias (Tabela 5).

**Tabela 5 - Valores obtidos para as variáveis consideradas no cálculo do índice de rugosidade das sub-bacias do rio do Campo - PR**

Sub-bacia	Comprimento total dos canais (km)	Área (km <sup>2</sup> )	Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )	Amplitude altimétrica (m)	Índice de Rugosidade
1	12,53	15,15	0,827	186	0,154
2	43,48	67,30	0,646	265	0,171
3	29,47	32,03	0,920	211	0,194
4	15,74	21,87	0,720	146	0,105
5	40,55	53,15	0,763	172	0,131
6	21,56	32,65	0,660	147	0,097
7	60,13	90,71	0,663	253	0,168
8	28,51	34,92	0,816	140	0,114
9	28,21	35,24	0,801	167	0,134

Fonte: Autoria própria

As maiores sub-bacias apresentam área de 90,71 km<sup>2</sup>, 67,30 km<sup>2</sup> e 53,15 km<sup>2</sup>, sendo elas, as sub-bacias 7, 2 e 5 respectivamente. Já as sub-bacias 3, 6, 8 e 9

possuem, em média, 33,71 km<sup>2</sup>, sendo as menores áreas representadas pelas sub-bacias 4 (21,87 km<sup>2</sup>) e 1 (15,15 km<sup>2</sup>).

O cálculo da densidade de drenagem é importante para o estudo das bacias hidrográficas porque apresenta relação inversa com o comprimento dos canais. À medida que aumenta o valor numérico da densidade há diminuição proporcional do tamanho dos componentes fluviais das bacias de drenagem (BARBOSA; FURRIER, 2011; CHRISTOFOLETTI, 1980). Essa variável morfométrica retrata a disponibilidade de canais para o escoamento linear das águas e materiais detríticos e o grau de dissecação do relevo, resultante da atuação da rede de drenagem (RIBEIRO, G. P., 2002).

A amplitude altimétrica é balizada pelas altitudes mínimas e máximas ocorrentes na bacia e pela faixa de altitude que predomina na área, sendo caracterizado pela diferença entre as altitudes máxima e mínima (BARBOSA; FURRIER, 2011). A maior altitude da bacia hidrográfica do rio do Campo é de 725 m e a menor altitude é de 326 m, sendo assim, a amplitude altimétrica da bacia é de 399 m (Figura 6). Para as sub-bacias, a amplitude altimétrica variou de 140 m a 265 m, onde as maiores amplitudes foram observadas nas sub-bacias 2, 7 e 3, respectivamente, sendo a 2 e 7 ainda, as que possuem as maiores áreas.

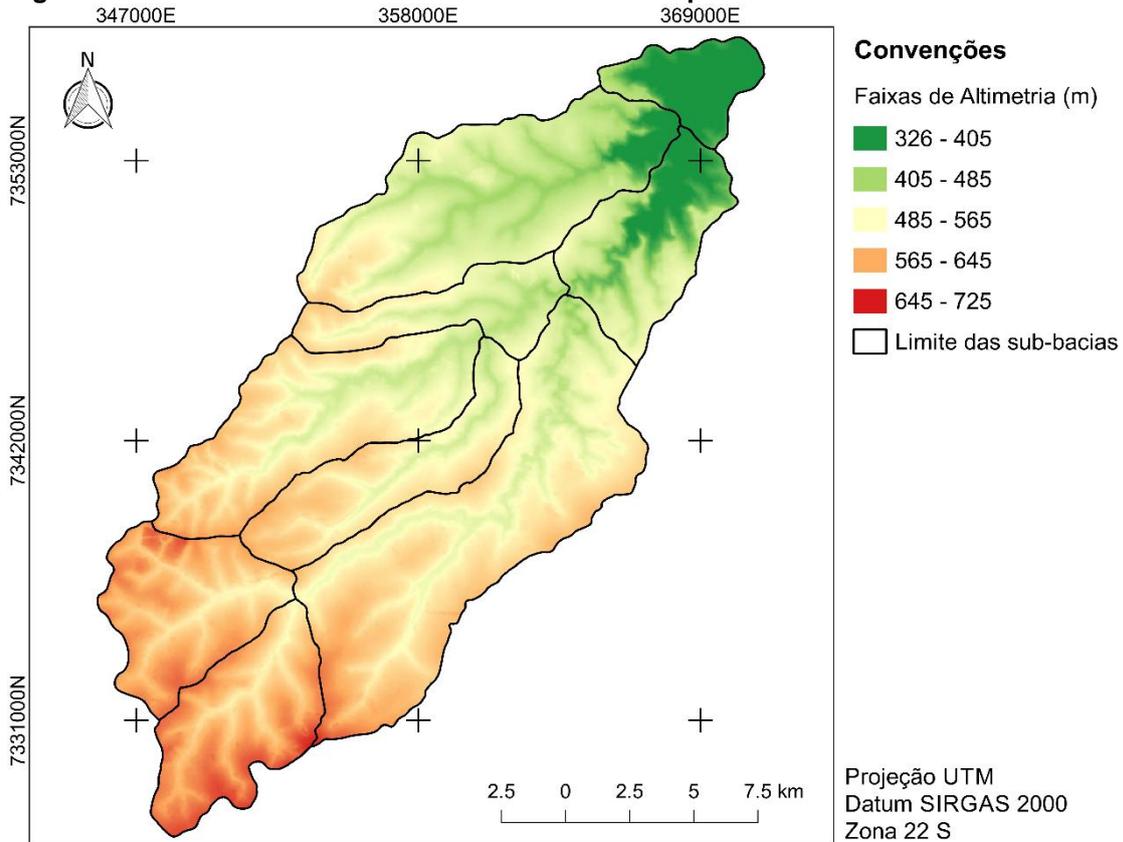
Ante ao exposto, uma vez determinados os valores do índice de rugosidade, os mesmos foram distribuídos em faixas considerando o intervalo encontrado entre os resultados apurados e o número de classes de rugosidade, atribuindo-se um peso para o fator de fragilidade potencial, sendo o nível de fragilidade tanto melhor quanto mais próximo a um (Tabela 6).

**Tabela 6 - Valor atribuído ao fator de fragilidade potencial de acordo com as faixas de Índice de Rugosidade obtidas para as sub-bacias do rio do Campo - PR, considerando as Classes de rugosidade**

<b>Classe de rugosidade</b>	<b>Faixa de Índice de rugosidade</b>	<b>Peso</b>
Muito forte	0,175 - 0,194	0,20
Forte	0,155 - 0,175	0,40
Média	0,136 - 0,155	0,60
Fraca	0,116 - 0,136	0,80
Muito fraca	0,097 - 0,116	1,00

**Fonte: Adaptado de Couto (2007)**

**Figura 6 - Faixas de altimetria da bacia do rio do Campo - PR**



Fonte: Autoria própria

Base cartográfica: SRTM (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2016)

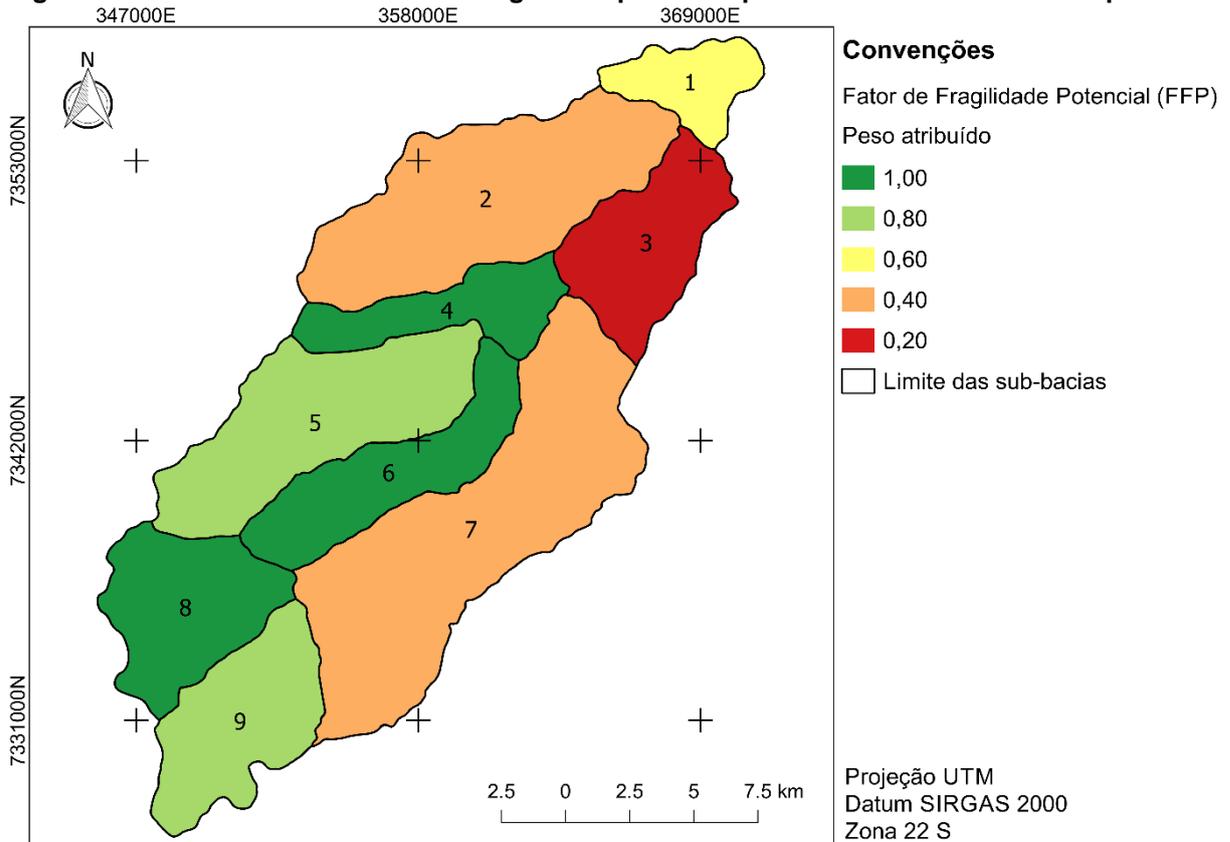
Obtendo-se as faixas de rugosidade em relação ao grau de fragilidade potencial, foi possível confrontar os valores obtidos para o índice de rugosidade, resultando na identificação do FFP para cada sub-bacia (Tabela 7; Figura 7).

**Tabela 7 - Fator de fragilidade potencial atribuído as sub-bacias do rio do Campo - PR, de acordo com o índice de rugosidade**

Sub-bacia	Índice de Rugosidade	Classe de Rugosidade	FFP
1	0,154	Média	0,60
2	0,171	Forte	0,40
3	0,194	Muito forte	0,20
4	0,105	Muito fraca	1,00
5	0,131	Fraca	0,80
6	0,097	Muito fraca	1,00
7	0,168	Forte	0,40
8	0,114	Muito fraca	1,00
9	0,134	Fraca	0,80

Fonte: Autoria própria

**Figura 7 - Peso atribuído ao fator de fragilidade potencial por sub-bacia do rio do Campo - PR**



**Fonte: Autoria própria**

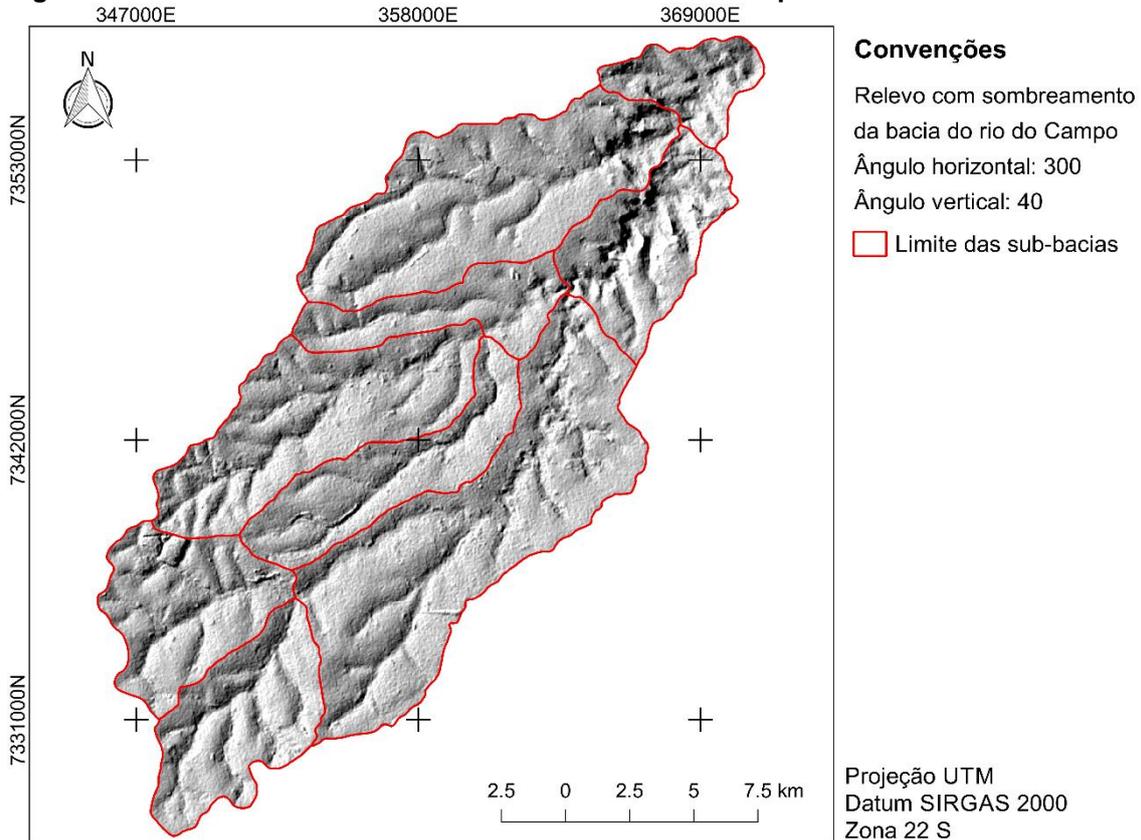
De acordo com Villela e Matos (1975), a densidade de drenagem pode variar, geralmente, de 0,5 a 3,5 km/km<sup>2</sup>, sendo os valores menores correspondentes a uma drenagem pobre e os valores mais altos relacionados a bacias bem drenadas. Observou-se baixos valores de densidade de drenagem para as sub-bacias, assim como Veiga et al., (2013), que obteve 0,91 km/km<sup>2</sup> para esse parâmetro, demonstrando que a bacia do rio do Campo possui baixa capacidade de drenagem, visto que os valores variaram de 0,646 a 0,920 km/km<sup>2</sup>, o que indica terrenos com pouca declividade, contribuindo para uma alta taxa de infiltração.

Conforme Castro e Carvalho (2009), o aumento do índice de rugosidade implica em maiores declividades e canais mais entalhados. Bacias hidrográficas com índice de rugosidade elevado têm maior potencial para ocorrência de cheias e são bacias de alta energia (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Segundo Colavite (2009, p. 9), “a rugosidade topográfica corresponde a maior ou menor irregularidade do terreno, quanto maior o resultado maior será a rugosidade deste, ou seja, maior será sua dissecação”, sendo que os resultados obtidos para a bacia do rio do Campo apresentam uma superfície de baixa irregularidade ou

rugosidade. Evidenciando ainda que no trecho superior e médio da bacia, os índices de dissecação do relevo são baixos, enquanto o trecho inferior apresenta um alto índice de dissecação do relevo e conseqüentemente maiores declividades (Figura 8).

**Figura 8 - Relevo com sombreamento da bacia do rio do Campo - PR**

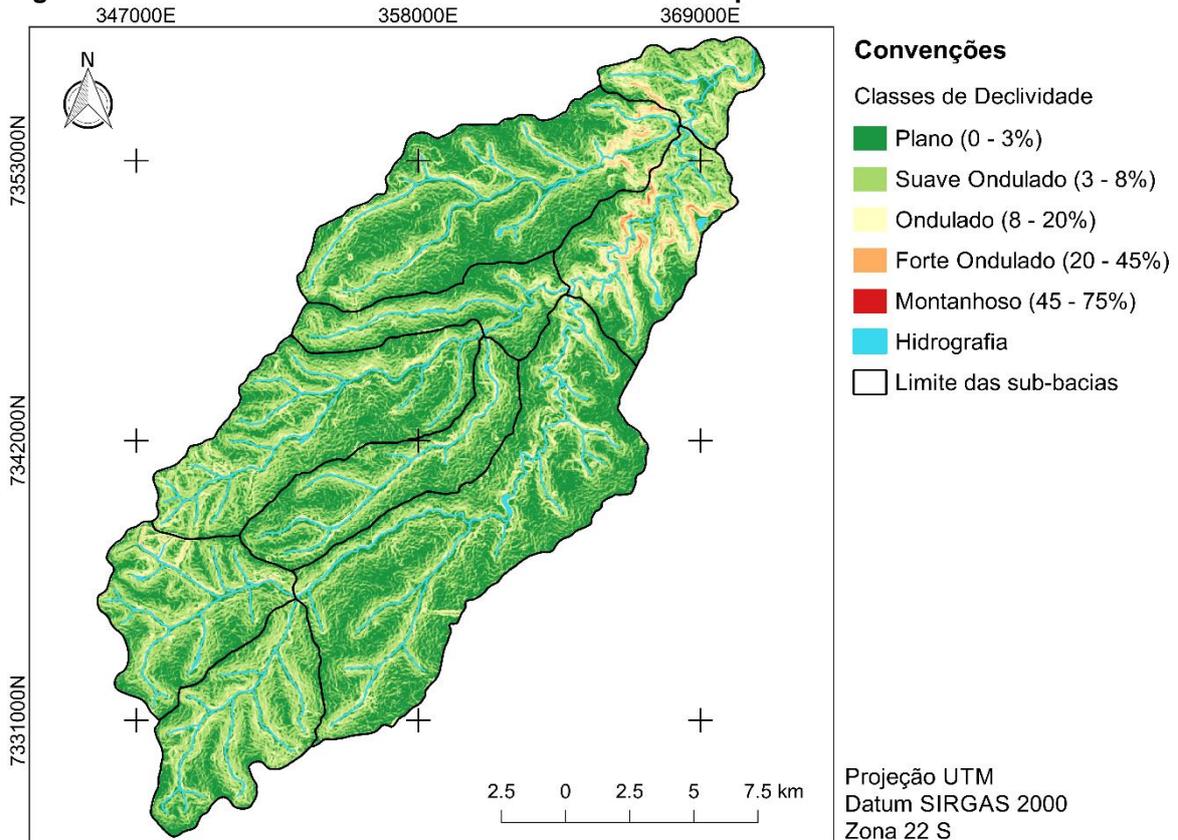


**Fonte: Autoria própria**

**Base cartográfica: SRTM (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2016)**

A rugosidade do terreno pode ser confirmada mediante observação da declividade da área de estudo, a qual apresenta em sua maioria relevo plano a suave ondulado, ou seja, apresenta topografia pouco acidentada. No entorno dos canais fluviais tem-se o predomínio de declividades médias – relevo ondulado –, em especial no trecho inferior da bacia em estudo (Figura 9).

Conforme a classificação de faixas de rugosidade estabelecida a partir dos resultados do índice de rugosidade, apenas a sub-bacia 3 apresentou rugosidade muito forte, corroborando com a declividade da área. As sub-bacias 2 e 7 apresentaram rugosidade forte, possivelmente em função dos maiores valores de amplitude altimétrica destas sub-bacias.

**Figura 9 - Classes de Declividade da bacia do rio do Campo - PR**

Fonte: Autoria própria

Base cartográfica: SRTM (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2016)

De acordo com Colavite (2009), os baixos índices de dissecação do terreno associados aos solos férteis e ao clima da região propiciam o pleno desenvolvimento da agricultura mecanizada, em especial o desenvolvimento da monocultura de soja (no verão) e de trigo e milho (no inverno).

Apesar da baixa rugosidade e declividade da área de estudo, deve-se considerar que a maior ocupação da bacia consiste em áreas de cultura temporária e pastagem (74,41%), abrangendo ainda, áreas urbanas dos municípios de Campo Mourão e Peabiru, evidenciando a necessidade de práticas de conservação de solo e planejamento adequado do sistema de drenagem urbana.

A área urbana do município de Campo Mourão e parte da área urbana de Peabiru estão inseridas dentro dos limites da bacia, sendo assim, as águas oriundas da drenagem urbana são destinadas aos canais fluviais da área de estudo. Silva e Gasparetto (2016) destacam que a área urbana contribui para a alteração da qualidade ambiental dos cursos hídricos, em grande parte, pela poluição de fontes difusas, o escoamento superficial sobre áreas impermeáveis que promove o

carreamento de material particulado, facilitando a veiculação de poluentes nos corpos hídricos.

Ao considerar o fator de fragilidade potencial como indicativo das condições ambientais da bacia no contexto dos indicadores de sustentabilidade ambiental, reflete-se a importância da inserção de uma variável geomorfológica, capaz de refletir a capacidade de suporte dos ambientes terrestres em função das suas características morfodinâmicas, as quais repercutem sobre fatores tais como o potencial erosivo e a estabilidade das vertentes (COUTO, 2007).

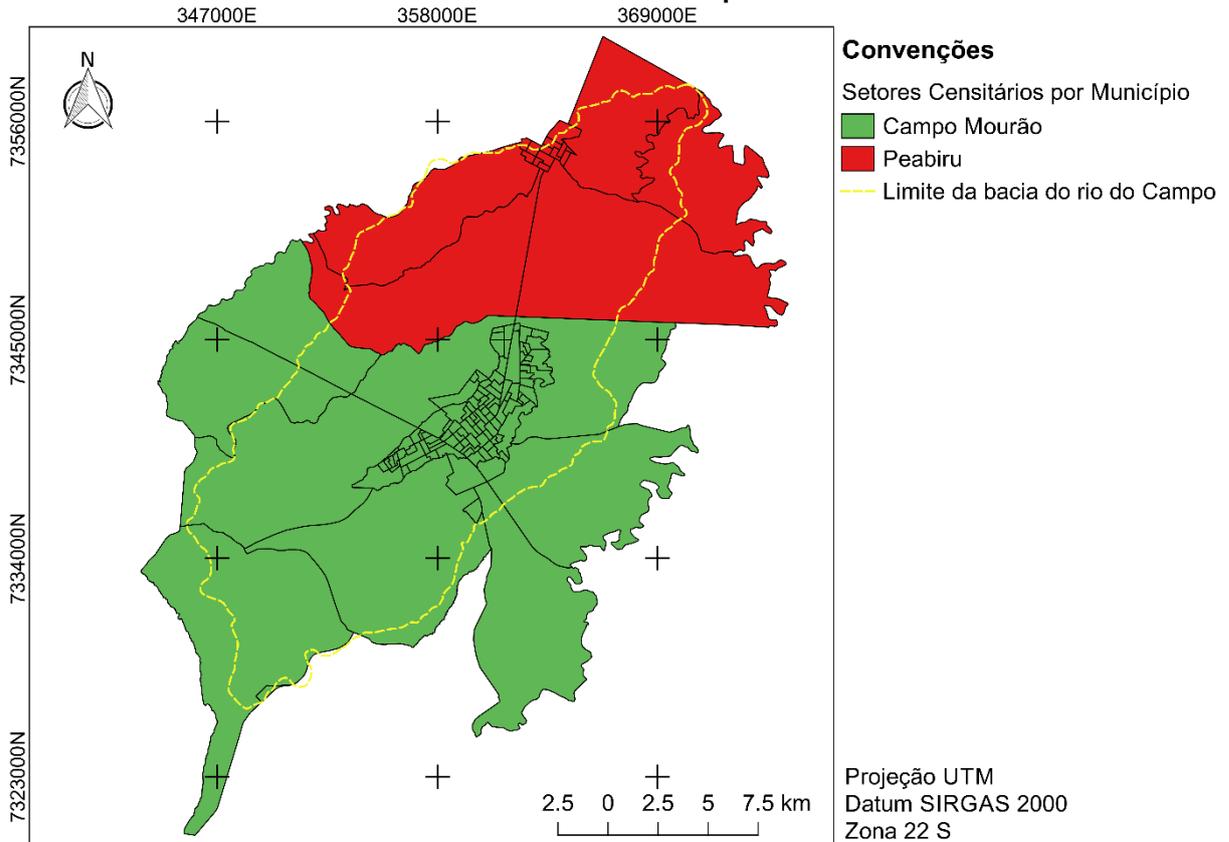
Considerando os resultados obtidos por meio desse fator, a preocupação em relação aos níveis de sustentabilidade ambiental, não deve se limitar somente as áreas urbanizadas, onde se concentra a maior parte da população e portanto sujeitas a intensa ação antrópica, mas também às áreas com características físicas limitadoras ao seu uso e ocupação, tal como ocorre junto a sub-bacia 3, que sinaliza um alerta quanto a sua capacidade de suporte, visto que possui os maiores valores de rugosidade e declividade.

### **5.3 Fator de desenvolvimento humano**

Os setores censitários foram utilizados como elemento de espacialização dos dados relacionados ao FDH, mediante compatibilização com a bacia hidrográfica, segundo os critérios estabelecidos por Couto (2007). Diante do exposto, a área de estudo abrange 133 setores, dos quais 115 são setores do município de Campo Mourão e 18 são setores do município de Peabiru (Figura 10), destes 10 e 6 são setores rurais, respectivamente.

A partir da definição dos setores censitários inseridos nos limites da área de estudo, de acordo com os critérios já mencionados, dividiu-se os setores em suas respectivas sub-bacias, possibilitando assim, o cálculo dos valores relativos ao fator de desenvolvimento humano.

**Figura 10 - Setores Censitários dos municípios de Campo Mourão e Peabiru que foram considerados dentro dos limites da bacia do rio do Campo – PR**



Fonte: Adaptado de dados cartográficos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011)

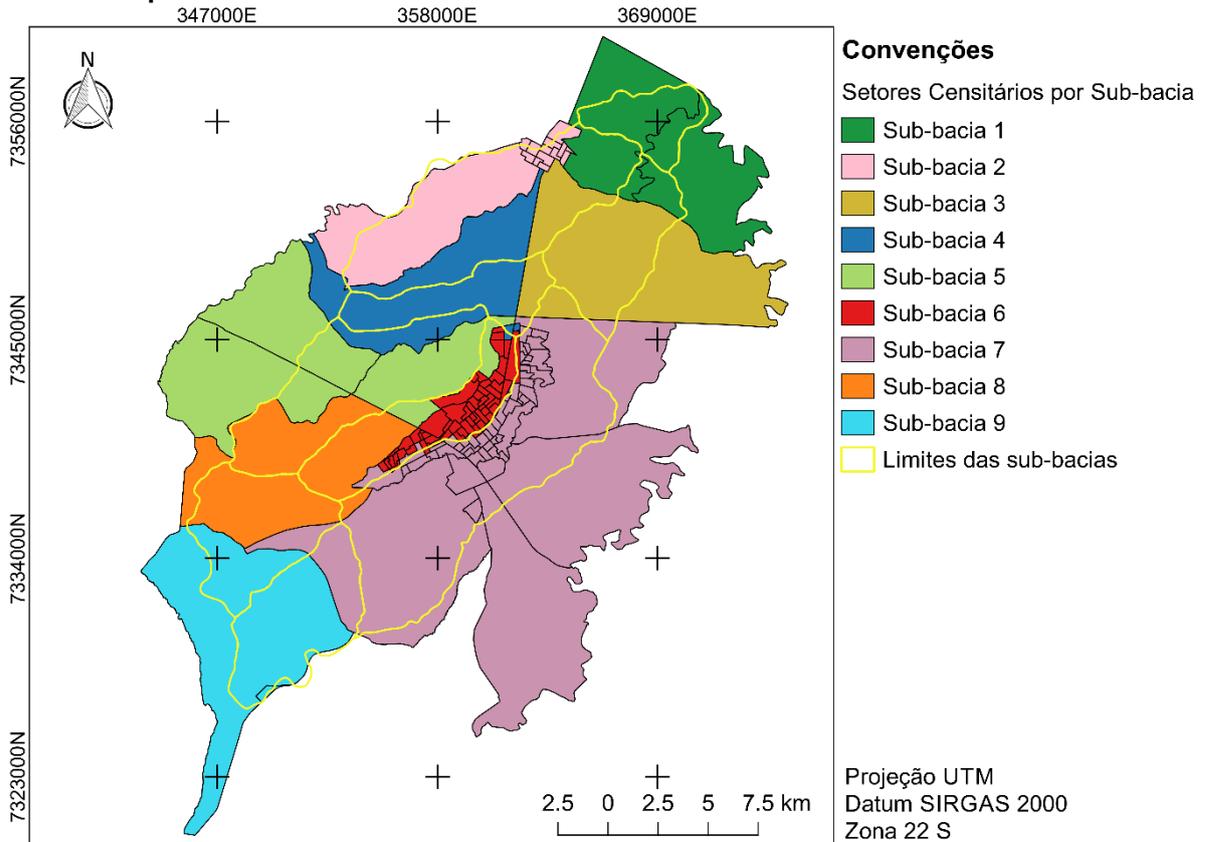
O maior número de setores censitários se concentra nas sub-bacias 2, 6 e 7, devido ao elevado número de setores urbanos compreendidos em seus limites, referentes as áreas urbanas dos municípios de Campo Mourão e Peabiru (Tabela 8; Figura 11). Os setores urbanos são significativamente menores em extensão se comparados aos setores rurais.

**Tabela 8 - Número de setores censitários por sub-bacia do rio do Campo - PR**

Sub-bacia	Número de setores censitários
1	2
2	14
3	1
4	3
5	3
6	55
7	52
8	1
9	2
<b>Total</b>	<b>133</b>

Fonte: Autoria própria

**Figura 11 - Setores Censitários que foram considerados dentro dos limites das sub-bacias do rio do Campo - PR**



Fonte: Adaptado de dados cartográficos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011)

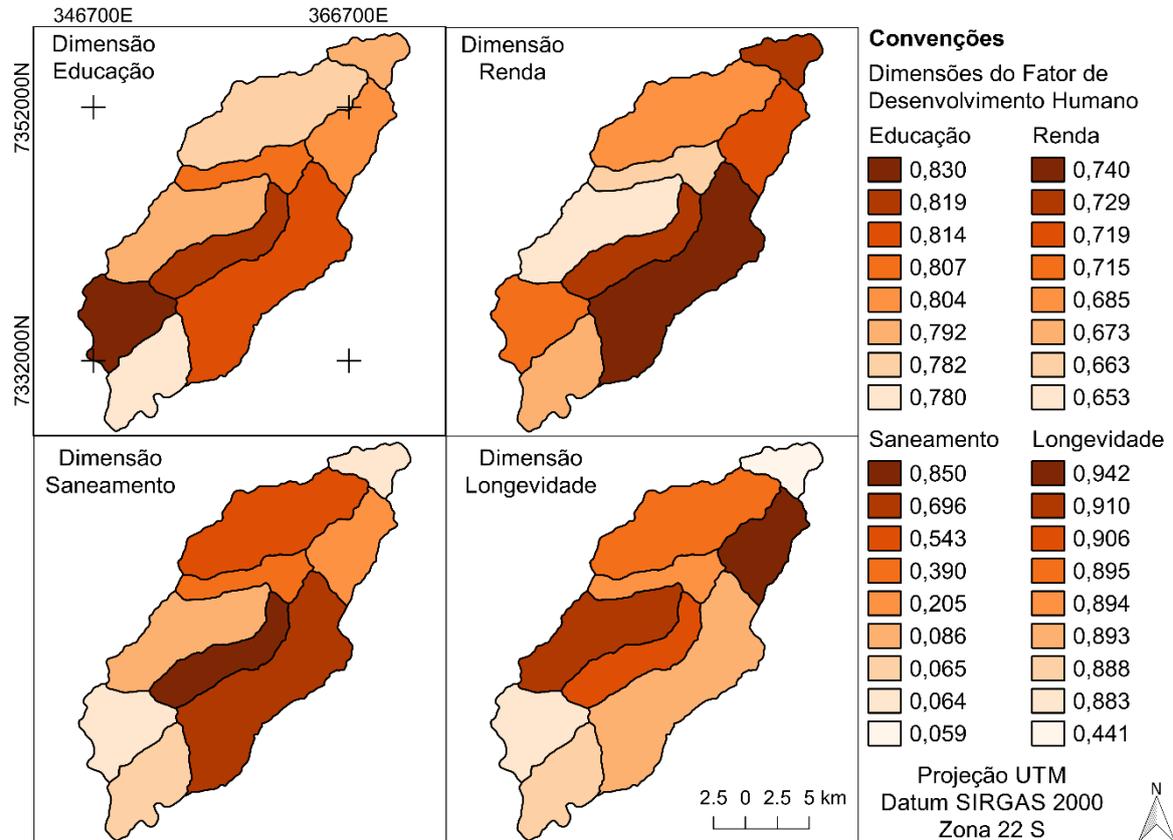
Para a determinação do FDH por sub-bacia, calculou-se o IDH nas quatro dimensões que compõe o fator: educação, saneamento, longevidade e renda (Tabela 9; Figura 12). Segundo Saldanha (2007), a dimensão social do desenvolvimento sustentável corresponde, especialmente, aos objetivos ligados à satisfação das necessidades humanas, melhoria da qualidade de vida e justiça social.

**Tabela 9 - Resultados obtidos para as dimensões que compõe o fator de desenvolvimento humano por sub-bacia do rio do Campo - PR**

Sub-bacia	Dimensão Educação	Dimensão Saneamento	Dimensão Longevidade	Dimensão Renda
1	0,792	0,064	0,441	0,729
2	0,782	0,543	0,895	0,685
3	0,804	0,205	0,942	0,719
4	0,807	0,390	0,894	0,663
5	0,792	0,086	0,910	0,653
6	0,819	0,850	0,906	0,729
7	0,814	0,696	0,893	0,740
8	0,830	0,059	0,883	0,715
9	0,780	0,065	0,888	0,673
<b>Bacia do rio do Campo</b>	<b>0,802</b>	<b>0,329</b>	<b>0,850</b>	<b>0,701</b>

Fonte: Autoria própria

**Figura 12 - Resultados obtidos para as quatro dimensões que compõe o fator de desenvolvimento humano por sub-bacia do rio do Campo - PR**



Fonte: Autoria própria

Os resultados obtidos nas dimensões educação, longevidade e renda, podem ser comparados com os valores correspondentes ao IDHM dos municípios de Campo Mourão e Peabiru nestas dimensões. Para a dimensão renda, Campo Mourão e Peabiru apresentam índice de 0,749 e 0,727, respectivamente, já a bacia do rio do Campo apresentou índice de 0,701. Para a dimensão longevidade, Campo Mourão e Peabiru apresentam índice de 0,841 e 0,826, já a bacia do rio do Campo apresentou índice de 0,850. Para a dimensão educação, Campo Mourão e Peabiru apresentam índice de 0,689 e 0,629, já a bacia do rio do Campo apresentou índice de 0,802.

Tendo em vista que os métodos utilizados para o cálculo da dimensão renda, no presente estudo e no IDHM, são os mesmos, os resultados mostraram-se coerentes para a bacia do rio do Campo. Considerando que a dimensão longevidade, no presente estudo, inclui o fator de longevidade, ainda assim os resultados comparados aos municípios se apresentam semelhantes. No entanto, a dimensão educação no IDHM considera em seu cálculo a frequência escolar e a escolaridade,

enquanto o presente estudo considera a alfabetização e o número médio de anos de estudo, o que justifica a discrepância dos resultados.

Relacionando os resultados das dimensões aos níveis de desenvolvimento humano, os índices obtidos para as sub-bacias, na dimensão educação, apresentaram bons resultados em relação ao FDH, com variação de 0,780 a 0,830, sendo as sub-bacias 1, 2, 5 e 7 classificadas com um alto desenvolvimento, e as demais sub-bacias (3, 4, 6, 7 e 8) se enquadraram no nível muito alto de desenvolvimento humano.

A aquisição de conhecimentos básicos e a formação de habilidades cognitivas, objetivos tradicionais de ensino, constituem condições indispensáveis para que as pessoas tenham capacidade para processar informações, selecionando o que é relevante, assim, a educação estimula uma maior participação na vida política, desenvolve a consciência crítica, permite a geração de novas ideias e confere a capacidade para a continuação do aprendizado (SALDANHA, 2007).

De acordo com Saldanha (2007), a educação propicia ainda, o discernimento, por parte dos cidadãos, de seus direitos e deveres para com a sociedade e com o espaço que ocupam e no qual interagem, sendo agentes atuantes na organização e dinâmica do mesmo.

Para obtenção da dimensão saneamento, a metodologia considera apenas a taxa de abastecimento de água e de coleta de esgoto pela rede geral, o que resultou nos menores índices de desenvolvimento humano. As sub-bacias com desenvolvimento no nível muito baixo foram 1 (0,064), 3 (0,205), 4 (0,390), 5 (0,086), 8 (0,59) e 9 (0,65), que correspondem as áreas majoritariamente agrícolas. Já as sub-bacias com maior número de setores urbanos apresentaram os maiores índices, sendo elas, 2 (0,543), 6 (0,850) e 7 (0,696).

Estes baixos valores obtidos (0,059 - 0,390), enquadrados no pior nível de sustentabilidade, estão relacionados ao fato da maior parte do esgotamento sanitário e abastecimento de água ocorrer por fontes alternativas nos setores rurais, como fossa séptica ou fossa rudimentar para os serviços de esgoto e poços artesianos ou nascentes para os serviços de abastecimento.

Os serviços de água e esgoto possuem problemas crônicos, como a preservação dos mananciais urbanos, com isto, o desenvolvimento urbano tem produzido um ciclo de contaminação, gerado pelos efluentes da população urbana, que são os esgotos doméstico/pluvial e os efluentes industriais (TUCCI, 2008).

De acordo com Tucci (2008), esse processo ocorre em razão do despejo sem tratamento dos esgotos sanitários nos rios, contaminando este sistema hídrico; do transporte de grande quantidade de poluição orgânica e metais, por meio do esgoto pluvial, atingindo os rios nos períodos chuvosos; contaminação das águas subterrâneas mediante despejos industriais e domésticos, por meio das fossas sépticas, vazamento dos sistemas de esgoto sanitário e pluvial, entre outros.

Ao longo do tempo, mananciais de abastecimento tendem a reduzir a qualidade da sua água ou exigir maior tratamento químico da água fornecida à população (TUCCI, 2008). Portanto, mesmo existindo outras formas de abastecimento de água (poço, nascente, etc) e destinação do esgoto (fossa séptica, fossa rudimentar, vala, etc), o mais adequado para a área urbana seria uma boa cobertura dos sistemas de abastecimento e esgotamento sanitário, já para a área rural devem-se buscar alternativas adequadas ao saneamento rural.

A ligação do esgoto doméstico à rede geral evita a contaminação do solo e dos corpos hídricos, que por consequência contaminaria as águas de abastecimento superficiais e subterrâneas. O abastecimento público de água minimiza a contaminação por ingestão de água poluída, uma vez que o sistema de abastecimento oferta água previamente tratada, sendo que baixas coberturas favorecem a proliferação de doenças transmissíveis decorrentes de contaminação ambiental.

Segundo o Ministério da Saúde (2012), com a construção de um sistema de esgotos sanitários busca-se benefícios como: a conservação dos elementos naturais e melhoria das condições sanitárias locais; eliminação de focos de contaminação e poluição; eliminação de problemas estéticos desagradáveis; redução dos recursos aplicados no tratamento de doenças e diminuição dos custos no tratamento de água para abastecimento.

De acordo com Ribeiro e Rooke (2010), a importância da implantação do sistema de abastecimento de água, no contexto do saneamento, deve considerar aspectos sanitários, sociais e econômicos, visando: a melhoria da saúde e das condições de vida de uma comunidade, redução da mortalidade – principalmente infantil –, aumento da esperança de vida da população, diminuição da incidência de doenças relacionadas a água, facilidade na implantação e eficiência dos sistemas de esgotos sanitários, possibilidade de proporcionar conforto e bem-estar, além de proporcionar um aumento da vida produtiva dos indivíduos economicamente ativos e diminuir os gastos particulares e públicos com serviços de saúde.

A bacia hidrográfica do rio do Campo apresenta os maiores índices de desenvolvimento humano na dimensão longevidade, média de 0,85, caracterizado como muito alto, sendo que para as nove sub-bacias, apenas uma apresentou valor abaixo da classe mencionada. A sub-bacia 1 obteve o valor de 0,441, devido a esta possuir apenas dois setores em seus limites, sendo que um deles apresentou fator de longevidade nulo, já que o setor não atingiu a esperança de vida ao nascer do município.

De acordo com Saldanha (2007), o acesso universal aos serviços de saúde é condição para a conquista e manutenção da qualidade de vida da população que, por sua vez, é um dos elementos essenciais para um desenvolvimento sustentável. O indicador proposto expressa a relação entre o envelhecimento da população nos setores censitário, em relação a esperança de vida ao nascer dos municípios, o que pode ser relacionado a oferta de serviços de saúde e o potencial de acesso aos mesmos pela população das sub-bacias.

Na dimensão renda, considerando o valor da renda per capita dos responsáveis por domicílios particulares permanentes, as sub-bacias 2, 4, 5 e 9 tiveram seus resultados compreendidos no nível médio de desenvolvimento, entre 0,653 e 0,685. No nível alto de desenvolvimento humano se encontram as sub-bacias 1, 3, 6, 7 e 8, com valores entre 0,715 e 0,740.

A renda é um dos indicadores mais utilizados com a finalidade de avaliar a distribuição dos rendimentos pela população, considerado um aspecto importante para uma sociedade que pretende ser equitativa, visto que o combate à desigualdade é um dos principais desafios do desenvolvimento sustentável (SALDANHA, 2007).

Saldanha (2007) ressalta ainda que a maneira como se dá a apropriação das riquezas produzidas por uma região é reveladora do grau de equidade atingido, além de ser essencial na formulação de políticas públicas que objetivem o desenvolvimento sustentável. Essas políticas devem ser voltadas à redução da pobreza, da desigualdade e das diferenças regionais.

Os resultados obtidos para as quatro dimensões foram aplicados de acordo com a Equação 6, para estabelecer o FDH das sub-bacias do rio do Campo, resultando em uma variação de 0,507 a 0,826, o qual se comparado ao IDHM de Campo Mourão e Peabiru, 0,757 e 0,723 respectivamente, apresenta 6 sub-bacias com índice abaixo do IDHM dos municípios, sendo que estas se caracterizam pela predominância de setores censitários rurais, o que se explica principalmente pelo fato

do FDH considerar no seu cálculo a dimensão saneamento, o que não é feito no cálculo do IDHM, ressaltando a importância desse fator para a sustentabilidade ambiental.

Considerando as faixas de desenvolvimento, a maior parte da bacia apresentou níveis médios de desenvolvimento (3, 4, 5, 8 e 9) (Tabela 10; Figura 13). A sub-bacia 6, que corresponde ao maior número de setores urbanos do município de Campo Mourão, exclusivamente, se enquadrou na faixa de desenvolvimento muito alto, bem como, a sub-bacia 1, essencialmente rural, unicamente apresentou o nível baixo de desenvolvimento humano.

**Tabela 10 - Fator de desenvolvimento humano atribuído as sub-bacias do rio do Campo - PR, relacionado as faixas de desenvolvimento humano**

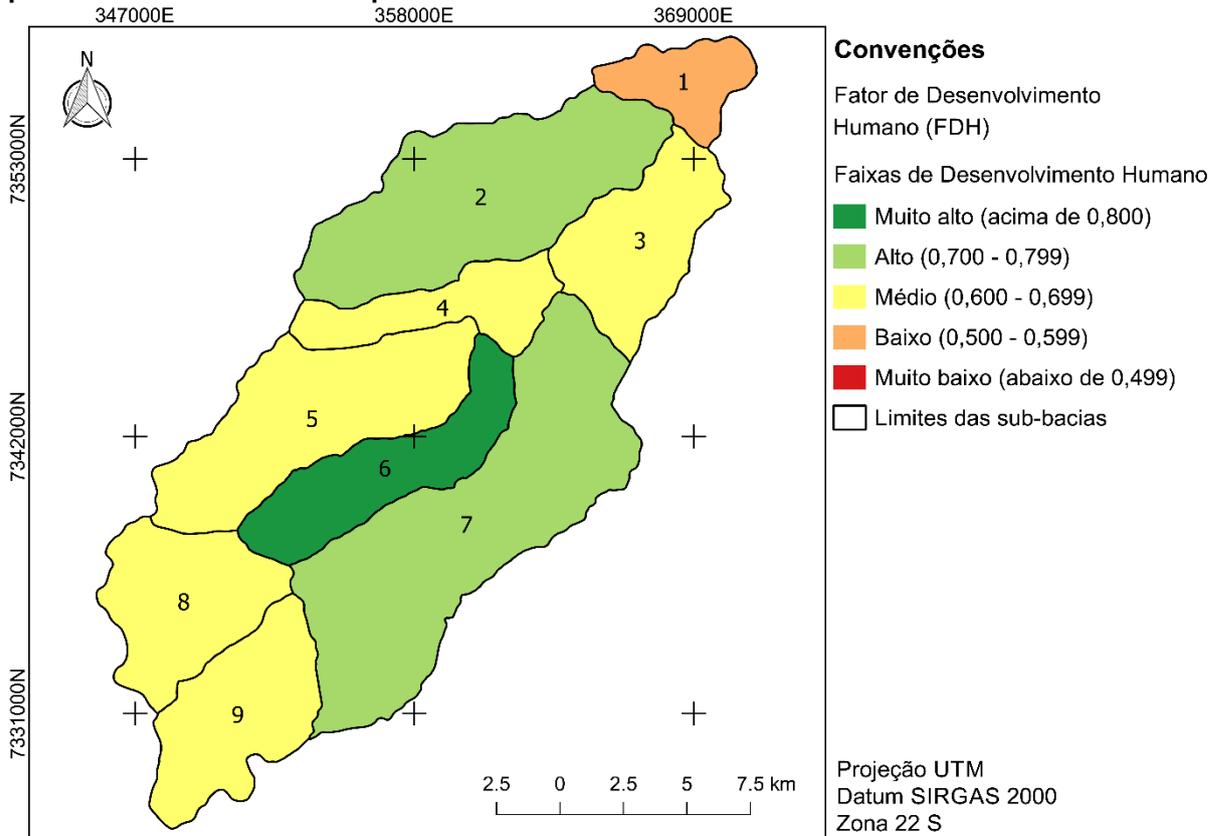
Sub-bacia	FDH	Faixa de Desenvolvimento Humano <sup>1</sup>
1	0,507	Baixo
2	0,726	Alto
3	0,668	Médio
4	0,689	Médio
5	0,610	Médio
6	0,826	Muito alto
7	0,786	Alto
8	0,622	Médio
9	0,602	Médio

Fonte: Autoria própria

<sup>1</sup>Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (2013)

Portanto, com os resultados do fator de desenvolvimento humano, verifica-se que os piores índices são obtidos nas sub-bacias com menor grau de urbanização, especialmente onde há predomínio de setores rurais. Isto se deve as maiores deficiências em termos de infraestrutura e serviços públicos observados nessas áreas, sobretudo no que se refere à questão sanitária. Contudo deve-se considerar que a população residente nessas sub-bacias é reduzida, se comparada as demais sub-bacias predominantemente urbanas, sendo o mesmo fato observado no estudo realizado por Couto (2007).

**Figura 13 - Faixas de Desenvolvimento humano atribuídas ao fator de desenvolvimento humano por sub-bacia do rio do Campo – PR**



Fonte: Autoria própria

#### 5.4 Índice de sustentabilidade ambiental

A apuração do índice de sustentabilidade da bacia do rio do Campo constitui o principal objetivo desse estudo, utilizando-se para isso um conjunto de fatores capazes de refletir a realidade das sub-bacias.

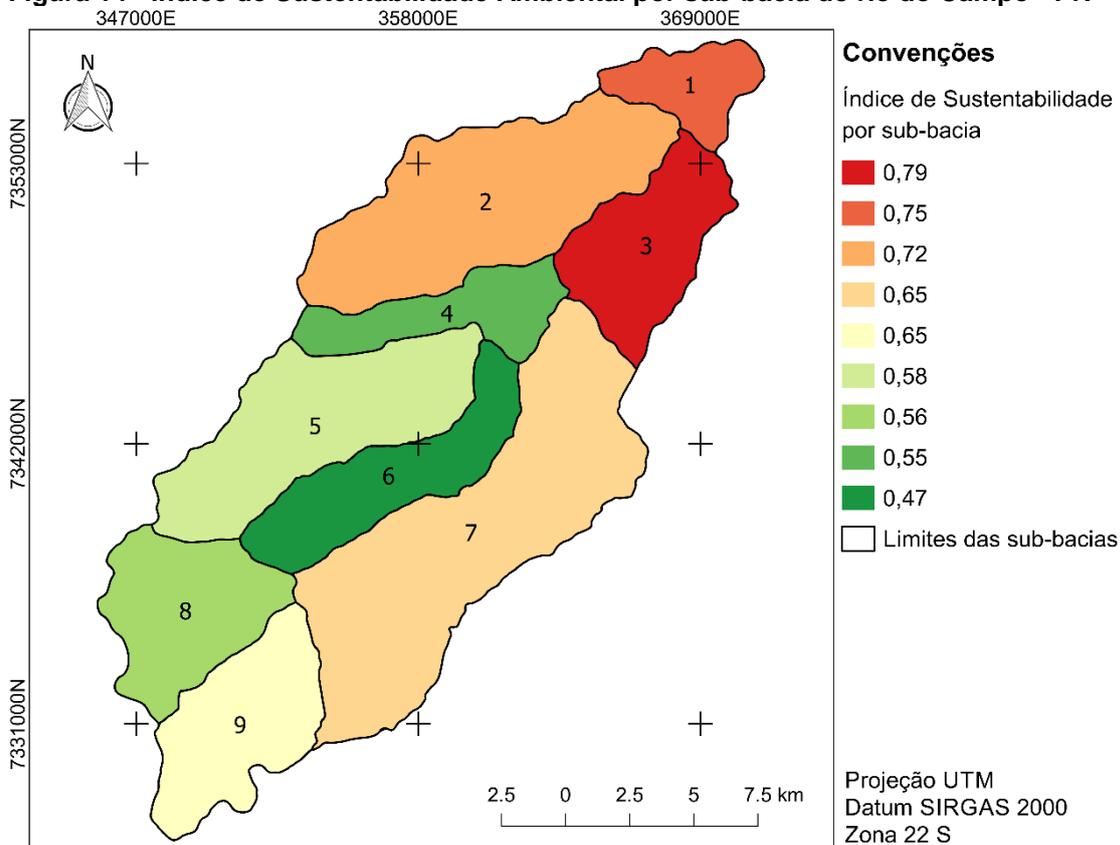
Procedendo-se à obtenção do índice de sustentabilidade, a média dos três fatores que o compõe resultaram em um fator de uso do solo de 0,55, correspondente ao menor índice, seguido pelo fator de desenvolvimento humano de 0,671 e, com o melhor desempenho, o fator de fragilidade potencial de 0,69. Os valores obtidos para estes três fatores foram aplicados na Equação 1, resultando no índice de sustentabilidade ambiental das sub-bacias do rio do Campo (Figura 14).

Os resultados obtidos para o IS por sub-bacia foram agregados por meio da Equação 2, resultando no valor médio de sustentabilidade das nove sub-bacias estudadas, assim, definiu-se o índice de sustentabilidade da bacia do rio do Campo em 0,64 (Tabela 11).

**Tabela 11 - Índice de Sustentabilidade obtido por sub-bacia e para a bacia do rio do Campo - PR**

Sub-bacia	FUS	FFP	FDH	Índice de Sustentabilidade
1	0,55	0,60	0,507	0,55
2	0,55	0,40	0,726	0,56
3	0,55	0,20	0,668	0,47
4	0,55	1,00	0,689	0,75
5	0,55	0,80	0,610	0,65
6	0,55	1,00	0,826	0,79
7	0,55	0,40	0,786	0,58
8	0,55	1,00	0,622	0,72
9	0,55	0,80	0,602	0,65
<b>Bacia do Rio do Campo</b>	<b>0,55</b>	<b>0,69</b>	<b>0,671</b>	<b>0,64</b>

Fonte: Autoria própria

**Figura 14 - Índice de Sustentabilidade Ambiental por sub-bacia do rio do Campo - PR**

Fonte: Autoria própria

Análogo as faixas para o índice de desenvolvimento humano propostas pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (2013), pode-se considerar níveis para o índice de sustentabilidade (Tabela 12; Figura 15), o que permite sua análise de acordo com os indicadores elencados, exclusivamente, neste trabalho.

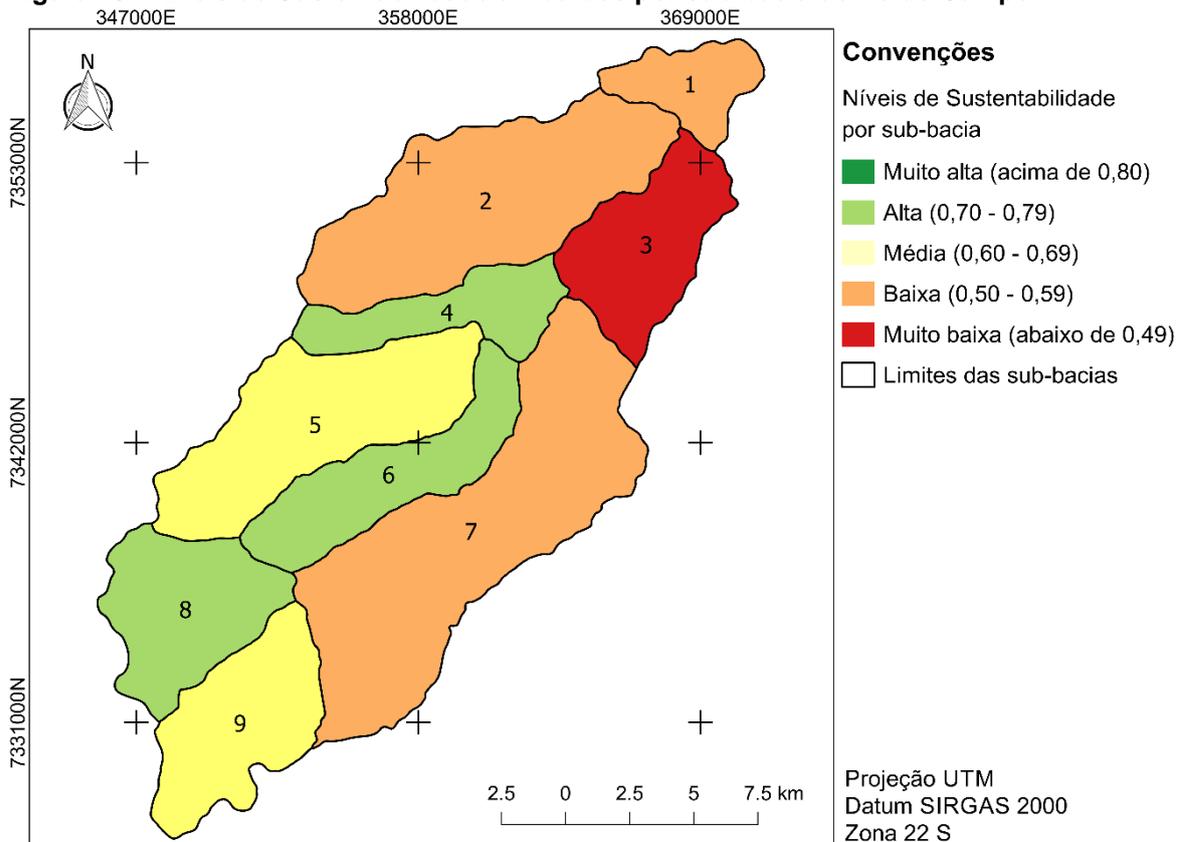
**Tabela 12 - Enquadramento das sub-bacias do rio do Campo - PR de acordo com os intervalos para os Níveis de Sustentabilidade**

Níveis de Sustentabilidade <sup>1</sup>	Intervalos <sup>2</sup>	Enquadramento das sub-bacias
Muito alta	$\geq 0,80$	-
Alta	0,70 – 0,79	4; 6; 8
Média	0,60 – 0,69	5; 9
Baixa	0,50 – 0,59	1; 2; 7
Muito baixa	$\leq 0,49$	3

Fonte: Autoria própria

<sup>1,2</sup>Adaptado do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (2013)

**Figura 15 - Níveis de Sustentabilidade atribuídos por sub-bacia do rio do Campo - PR**



Fonte: Autoria própria

Relacionando o índice de sustentabilidade obtido por Couto (2007), cuja metodologia embasou este trabalho, verificou-se a similaridade dos resultados nos fatores de fragilidade potencial e desenvolvimento humano, os quais analisaram onze sub-bacias, obtendo a média do FDH na bacia do Arroio Sapucaia de 0,686, enquanto a bacia do rio do Campo obteve média de 0,671. Para o fator de fragilidade potencial, ambos os estudos obtiveram o maior número de sub-bacias com índice de rugosidade entre as classes fraca e muito fraca (0,80 – 1,00).

No entanto, em relação ao fator de uso do solo, Couto (2007) obteve sete sub-bacias com cobertura predominantemente florestal, o que corresponde ao peso 1,00,

e apenas 4 com cobertura predominantemente urbana (peso 0,25), sendo que na bacia do rio do Campo houve predominância, em todas as sub-bacias, apenas de culturas temporárias e pastagens (peso 0,55).

O IS das sub-bacias permite que sejam identificadas as áreas mais críticas do ponto de vista da sustentabilidade no âmbito da bacia, possibilitando a comparação do comportamento desse índice a partir dos diferentes níveis de sustentabilidade obtidos nas sub-bacias.

Essa distribuição em níveis de sustentabilidade evidenciou que na bacia do rio do Campo há a predominância de uma média a alta sustentabilidade, pois cinco das nove sub-bacias apresentaram valores correspondentes a esses níveis, sendo consideradas de alta sustentabilidade as sub-bacias 4, 6 e 8. Ao considerar a bacia como um todo, esta se enquadra no nível de média sustentabilidade (entre 0,60 – 0,69), com um IS de 0,64.

Analisando os resultados obtidos verificou-se a importância do fator de fragilidade potencial na composição do índice, visto que as sub-bacias que registraram um FFP classificado entre médio e muito forte (0,6 - 0,2), registraram um IS mais baixo, como é o caso das sub-bacias 1, 2, 3 e 7. Consequentemente, as sub-bacias com melhor IS – 4, 6 e 8 – apresentaram melhores resultados referentes ao FFP, por estarem localizadas na região mais plana da bacia, obtendo resultados mais satisfatórios em termos de sustentabilidade.

Constatou-se ainda, a importância do fator de uso do solo, apesar dos resultados obtidos restringirem-se a apenas uma classe de uso, tendo em vista a metodologia utilizada que considera a classe predominante na sub-bacia. Segundo Ross (2006), as formas de relevo, a princípio, podem facilitar ou dificultar os processos de ocupação das terras e da produção. No que se refere ao uso agrícola dos solos, este se dá preferencialmente em áreas mais planas e baixas, como é o caso da área de estudo, corroborando com os resultados obtidos para o fator de fragilidade potencial.

Para a apuração do fator desenvolvimento humano, o qual considerada uma elevada diversidade de dados, abrangendo quatro dimensões – educação, longevidade, renda e saneamento –, que resultam em um único valor, dificilmente seria atingido o patamar máximo. No entanto, este fato não deprecia os resultados obtidos, considerando que o FDH contribui no sentido de refletir a necessidade de

políticas voltadas a melhoria de serviços básicos e aumento da qualidade de vida, o que dificilmente é atingido de forma plena.

Comparando os extremos obtidos para o índice de sustentabilidade das sub-bacia, evidencia-se que a sub-bacia 6, pertencente ao município Campo Mourão, apresentou os melhores resultados (IS de 0,79), enquanto a sub-bacia 3, pertencente ao município de Peabiru, apresentou o menor IS (0,47). A sub-bacia 3, apesar de possuir apenas um setor censitário rural, apresentou resultados medianos para o FDH (0,668), no entanto, obteve o menor índice do FFP (0,20) devido a esta possuir o maior índice de rugosidade entre as sub-bacias, representando ainda a terceira maior amplitude altimétrica entre elas.

Analisando a sub-bacia 6, esta encontra-se inserida em uma área onde há razoável oferta de serviços básicos essenciais à população, como acesso a saúde, educação, emprego e saneamento (FDH de 0,826). Em relação a fragilidade potencial, apresentou ainda, o menor valor de rugosidade, caracterizada por possuir baixas declividades (FFP de 0,20).

No entanto, há que se considerar a intensa ocupação antrópica devido a expansão urbana, o que pode resultar em problemas ambientais que promovem intensa degradação ao meio ambiente, como contaminação do solo e água, poluição do ar, perda da capacidade produtiva dos solos, erosão, entre outros. Como consequências disto, há um aumento de problemas como enchentes, deslizamentos, assoreamentos de rios, desertificações, entre tantos outros (SANTOS, 2007). Com isso, evidencia-se a necessidade de planejamento da expansão urbana e agrícola, com vistas ao desenvolvimento sustentável.

Ante ao exposto, a importância desse índice de sustentabilidade está na sua capacidade de sintetizar uma grande quantidade de informações, através da integração de diversos aspectos referentes aos sistemas socioeconômicos e ambientais da área de estudo, de forma a potencializar a sua aplicação nas mais diversas iniciativas voltadas à recuperação, preservação ou diagnóstico do meio ambiente.

Essa separação em níveis de sustentabilidade, segundo a concepção aqui adotada, visa subsidiar iniciativas voltadas para a gestão ambiental urbana e rural, tais como estudos mais elaborados, ou mesmo subsidiando a definição de áreas que devam ser alvo de ações por parte do poder público voltadas à preservação ou recuperação ambiental.

Dessa forma o emprego do índice de sustentabilidade, tal como foi desenvolvido nesse trabalho, permite auxiliar na comunicação e na visualização de elementos importantes relativos à qualidade ambiental e de vida da população no âmbito da bacia hidrográfica analisada.

É certo que essa proposta de obtenção de um índice de sustentabilidade ambiental, elaborada a partir de um número determinado de indicadores, não pretende refletir de forma isolada toda a realidade envolvida na questão da sustentabilidade ambiental. No entanto, busca-se refletir uma tendência, capaz de subsidiar a identificação de áreas e/ou parâmetros que requerem planejamento e gestão por parte das entidades interessadas em promover o desenvolvimento de forma sustentável.

## 6 CONCLUSÃO

O objetivo deste estudo foi alcançado, por meio da determinação dos fatores ambientais e socioeconômicos da bacia do rio do Campo, com o auxílio de um sistema de informações geográficas e ferramentas de geoprocessamento, resultando em um índice de sustentabilidade ambiental. Tal índice pode ser aplicado na avaliação do diagnóstico ambiental, servindo como base para o gerenciamento da bacia hidrográfica em estudo, considerando que as sub-bacias analisadas enquadram-se em diferentes níveis de sustentabilidade.

A bacia do rio do Campo apresentou, para fator de uso do solo, áreas predominantemente agrícolas, correspondendo a este fator o peso 0,55. Para o fator de fragilidade potencial, os indicadores aplicados indicaram áreas predominantemente planas, com uma rugosidade média a fraca, resultando em um índice de 0,69. Já o fator de desenvolvimento, que analisou quatro dimensões, evidenciou os menores valores para a dimensão saneamento e os melhores para a dimensão longevidade, obtendo um índice final de 0,671.

A agregação dos três fatores que compõe o índice de sustentabilidade empregado neste estudo indicou que a bacia do rio do Campo apresenta um nível médio de sustentabilidade com IS de 0,64. No entanto, destaca-se que a obtenção do IS por sub-bacia permitiu a identificação de diversos níveis de sustentabilidade dentro da mesma bacia hidrográfica, evidenciando que a área mais crítica está compreendida na sub-bacia 3, pertencente ao município de Peabiru, já a melhor condição de sustentabilidade foi encontrada na sub-bacia 6, pertencente ao município de Campo Mourão.

O índice proposto utilizou dados públicos, de fácil aquisição e de baixo custo, permitindo que seus resultados sejam melhorados a medida em que for agregada uma maior quantidade de informações, integração de novos indicadores, entre outros. Por outro lado, ressalta-se que ainda não existe nenhum tipo de medida que possa descrever precisamente todos os aspectos, estrutura e dinâmica de questões relacionadas ao meio ambiente e a sustentabilidade.

Portanto, considera-se que o índice gerado possa ser utilizado para um rápido diagnóstico das condições da bacia, sendo aproveitado pelas comunidades locais, tanto por instituições públicas como entidades de caráter privado, no suporte ao

planejamento e gestão de ações socioeconômicas e ambientais voltadas para a sustentabilidade das sub-bacias analisadas.

Nesse sentido, espera-se que os resultados obtidos com os índices e indicadores deste trabalho, sejam oportunamente aproveitados na caracterização da situação da bacia do rio do Campo e suas tendências, subsidiando as análises orientadas aos poderes públicos para a gestão de políticas públicas, em todos os níveis de gestão e participação social, bem como, à comunidade técnico-científica e as instâncias de representação política do país, dando suporte à tomada de decisão em uma direção realmente mais sustentável.

## REFERÊNCIAS

- BARBOSA, M. E. F.; FURRIER, M. Caracterização geomorfológica com apoio de índices morfométricos: o estudo de caso da bacia do rio Gurujá. **Cadernos do Logepa**, v. 6, n. 1. p. 1-24, jan/jun, 2011.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. p. 01-05.
- CÂMARA, J. B. D. (Coord.). **Geo Brasil 2002: Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil**. Brasília: Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente PNUMA. Edições IBAMA, 2002. 475 p.
- CAMPOS, M. V. C. de V.; RIBEIRO, M. M. R.; VIEIRA, Z. M. de C. L. A Gestão de Recursos Hídricos subsidiada pelo uso de Indicadores de Sustentabilidade. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 2, p. 209-222, abr/jun. 2014.
- CARVALHO JUNIOR, O. A.; COUTO JUNIOR, A. F.; SILVA, N. C.; MARTINS, E. S.; CARVALHO, A. P. F.; GOMES, R. A. T. Avaliação dos classificadores espectrais de mínima distância euclidiana e spectral correlation mapper em séries temporais NDVI-MODIS no campo de instrução militar de Formosa (GO). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 61, n. 4, p. 399-412, 2009.
- CARVALHO, K. Q.; LIMA, S. B.; PASSIG, F. H.; GUSMÃO, L. K.; SOUZA, D. C.; KREUTZ, C.; BELINI, A. D.; ARANTES, E. J. Influence of urban area on the water quality of the Campo River basin, Paraná State, Brazil. **Braz. J. Biol.**, São Carlos, v. 75, n. 4, p. 96-106, dec. 2015.
- CARVALHO, P. G. M.; BARCELLOS, F. C. Mensurando a Sustentabilidade. In: MAY, P. **Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2010, p. 99-132.
- CASTRO, S. B.; CARVALHO, T. M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo – GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Revista (eletrônica) Scientia Plena**, v. 5, n. 2, p. 1-7, 2009.
- CAVIGLIONE, J. H.; FIDALSKI, J.; ARAÚJO, A. G.; BARBOSA, G. M. C.; LLANILLO, R. F.; SOUTO, A. R. **Espaços entre terraços em plantio direto**. Londrina: IAPAR, Boletim técnico, n. 71, 2010. 59 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188 p.
- COLAVITE, A. P. **Geotecnologias aplicadas a análise da paisagem na bacia hidrográfica do rio do Campo, Paraná-Brasil**. 2009. 15 f. Disponível em: <<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Procesosambientales/Hidrologia/04.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2017

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso Futuro Comum**. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991. 430 p.

CONGALTON, R.G.; GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2008. 200 p.

CONGEDO, L. **Semi-Automatic Classification Plugin Documentation**, Release 5.3.6.1. 2017. 268 p. Disponível em: <<http://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/en/latest/#>>. Acesso em: 10 fev. 2017

COSTA, A.; VIEIRA, M.J.; BRAGAGNOLO, N.; MUZILLI, O.; PAN, W. Programas de Conservação do Solo e da Água em Microbacias: o caso do Paraná, resultados obtidos e novos desafios. In: II Simpósio Nacional sobre o uso da água na Agricultura, 2006, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo, 2006. 12 p.

COSTA, R. E. **Elaboração de um índice de sustentabilidade ambiental do uso da água na bacia hidrográfica do rio Pirapó**. 2013. 232 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

COUTO, O. F. V. **Geração de um índice de sustentabilidade ambiental para Bacias Hidrográficas em áreas urbanas através do emprego de técnicas integradas de geoprocessamento**. 2007. 172 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

CRISPIM, J. Q.; MALYSZ, S. T.; CARDOSO, O.; PAGLIARINI JUNIOR, S. N. Conservação e proteção de nascentes por meio do solo cimento em pequenas propriedades agrícolas na bacia hidrográfica Rio do Campo no município de Campo Mourão – PR. **Revista Geonorte**, Campo Mourão, v. 3, n. 4, p. 781-790. 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE DEFESA AGROPECUÁRIA. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná**. Articulação: MI – 496 e MI – 505. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Escala 1:250.000. 2007.

EQUIPE DE DESENVOLVIMENTO QGIS. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation, 2016. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>. Acesso em: 15 out. 2016

EQUIPE DE DESENVOLVIMENTO SAS Planet. **Serviço de Mapas SAS Planet**, 2017. Disponível em: <<http://sasgis.org/>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

FERREIRA, E. S.; LIRA, W. S.; CÂNDIDO, G. A. Sustentabilidade no setor de Mineração: uma aplicação do modelo Pressão-Estado-Impacto-Resposta. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 3, p. 74-91, jul/set. 2010.

GOMES, M. L.; MARCELINO M. M.; ESPADA, M. G.; RAMOS, T.; RODRIGUES, V. (Ed.) **Proposta para um sistema de indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. Portugal: Direcção Geral do Ambiente. 2000. 228 p. Disponível em:

<[http://www.apambiente.pt/\\_zdata/Divulgacao/Publicacoes/SIDS/SIDSPortugal\\_Proposta2000.pdf](http://www.apambiente.pt/_zdata/Divulgacao/Publicacoes/SIDS/SIDSPortugal_Proposta2000.pdf)>. Acesso em: 15 jan. 2017.

GOMES, P. R.; MALHEIROS, T. F. Proposta de análise de indicadores ambientais para apoio na discussão da sustentabilidade. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 151-169. 2012.

GRAÇA, C. H.; PASSIG, F. H.; KELNIAR, A. R.; PIZA, M. A.; CARVALHO, K. Q.; ARANTES E. J. Multitemporal analysis of estimated soil loss for the river Mourão watershed, Paraná – Brazil, **Braz. J. Biol.**, São Carlos, v. 75, n. 4, p. 120-130. 2015.

GUIMARÃES, L. T. **Proposta de um Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável para Bacias Hidrográficas**. 2008. 253 f. Tese (Doutorado em Ciência em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Bases cartográficas: malhas municipais**. 2015. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo**. IBGE, 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>. Acesso em: 10 set. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geociências: Bases cartográficas contínuas**. 2014. Disponível em: <[http://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm)>. Acesso em: 29 ago. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2004**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. 387 p. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv4323.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2015**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 352 p. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94254.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manuais Técnicos em Geociências**, n. 7: Manual Técnico de Uso da Terra. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171 p. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS. **Formações Fitogeográficas - Estado do Paraná**. 1 mapa fitogeográfico. Escala 1:2.000.000. 2009

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Manuais**: Introdução ao geoprocessamento. Divisão de Processamento de Imagens. 2006. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao\\_geo.html](http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html)>. Acesso em: 16 set. 2016.

ISAIAS, F. B. **Sustentabilidade da água: proposta de um índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas**. 2008. 168 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

JORGENSEN, S. E. Introduction. In: JORGENSEN, S. E.; COSTANZA, R.; XU, F. L. (Ed.). **Handbook of ecological indicators for assessment of ecosystem health**. New York: CRC Press Taylor & Francis Group, 2005. p. 3-7.

KELNIAR, A. R.; KRUGER, F. R.; ARANTES, E. J. Proposta para o índice de sustentabilidade da bacia hidrográfica do rio do Campo, Campo Mourão, PR. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 12, n. 6, p. 33-56, 2016.

KEMERICH, P. D. C.; MARTINS, S. R.; KOBIYAMA, M.; BURIOL, G. A.; BORBA, W. F.; RITTER, L. G. Avaliação da Sustentabilidade Ambiental em Bacias Hidrográficas mediante a aplicação do modelo P-E-R. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 10, n. 10, p. 2140-2150, jan/abr. 2013.

KEMERICH, P. D. C.; RITTER, L. G.; BORBA, W. F. Indicadores de sustentabilidade ambiental: métodos e aplicações. **Revista Monografias Ambientais do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM**, Santa Maria, v. 13, n. 5, p. 3723-3736, 2014.

KÖEPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la Tierra. México: Fondo de Cultura Economica, p. 482-487, 1948.

KRONEMBERGER, D. M. P.; CARVALHO, C. N.; CLEVELÁRIO JUNIOR, J. Indicadores de sustentabilidade em pequenas bacias hidrográficas: uma aplicação do “Barômetro da Sustentabilidade” à bacia do Jurumirim (Angra dos Reis/RJ). **Revista Geochimica Brasiliensis**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 86-92, 2004.

KRONEMBERGER, D. M. P.; CLEVELARIO JUNIOR, J.; NASCIMENTO, J. A. S.; COLLARES, J. E. R.; SILVA, L. C. D. Desenvolvimento Sustentável no Brasil: Uma Análise a partir da Aplicação do Barômetro da Sustentabilidade. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 20, n. 1, p. 25-50, jun. 2008.

LANDIS, J. R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 159-174. 1977. Disponível em: <[https://www.jstor.org/stable/2529310?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/2529310?seq=1#page_scan_tab_contents)>. Acesso em: 2 mar. 2017

LIMA, M. do C. de; MUNHOZ, M. T (Coord.). **Gestão dos Recursos Naturais**: subsídios à elaboração da Agenda 21 brasileira. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis; Consórcio TC/BR/FUNATURA, 2000. 200 p.

LIRA, W. S. **Sistema de Gestão do Conhecimento para Indicadores de Sustentabilidade - SIGECIS: Proposta de uma metodologia**. 2008. 178 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. 3 ed. Curitiba: Imprensa Oficial, 526 p. 2002.

MAYNARD, I. F. N.; CRUZ, M. A. S.; GOMES, L. J. Metodologias de índices para análise da sustentabilidade em bacias hidrográficas. In: ENCONTRO DE RECURSO HÍDRICO EM SERGIPE, 7., 2014, Aracaju. **Anais...** Brasília: Embrapa, 2014.

MINEROPAR (Minerais do Paraná). **Mapa Geológico do Estado do Paraná**. Curitiba: MINEROPAR, 1 mapa geológico, escala 1:650.000. 2006.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Plano de Segurança da Água**: Garantindo a qualidade e promovendo a saúde. Brasília: Ministério da Saúde/Secretaria de Vigilância em Saúde/Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador, 2012. 61 p.

OKA-FIORI, C.; SANTOS, L. J. C. (Coord.). **Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná**. Escala base 1:250.000, modelos reduzidos 1:500.000. Curitiba: MINEROPAR, 2006. 63 p.

OLIVEIRA, C. M. Desenvolvimento sustentável: uma discussão ambiental e social. In: **III JORNADA INTERNACIONAL DE POLÍTICAS PÚBLICAS**, 2007, São Luís, ago. 2007. p.1-8.

OLIVEIRA, V. M. M. **Sustentabilidade da bacia hidrográfica do rio Pitimbu-RN**: Proposta de indicadores e índice. 2016. 122 f. Dissertação (Mestrado em Uso Sustentável de Recursos Naturais) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. **OECD core set of indicators for environmental performance reviews**: a synthesis report by the group on the state of the environment. Environment Monographs, n. 83, Paris: OCDE, 1993. 39 p.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013**: O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro. Brasília: PNUD/IPEA/FJP, 2013. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/consulta/>>. Acesso em: 10 set. 2016.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. **Projeto Geo Cidades**: relatório ambiental urbano integrado. Rio de Janeiro: PNUMA/MMA/IBAM/ISER/REDEH, 2002. 192 p.

RIBEIRO, A. L. **Modelo de indicadores para mensuração do desenvolvimento sustentável na Amazônia**. 2002. 280 f. Tese (Doutorado em Ciências: Desenvolvimento Socioambiental) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.

- RIBEIRO, G. P. **Avaliação das alterações na rede de drenagem de sub-bacias hidrográficas da porção média da bacia do rio Capivari (SP): escala 1:25.000 – subsídio para o planejamento integrado**. 2002. 231 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- RIBEIRO, J. W.; ROOKE, J. M. S. **Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública**. 2010. 36 f. Monografia (Especialização em Análise Ambiental) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.
- ROMEIRO, A. R. (Org.). **Avaliação e contabilização de impactos ambientais**. São Paulo: Editora da UNICAMP, 2004. 400 p.
- ROSENFELD, G. H.; FITZPATRICK-LINS, K. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 52, n. 2, p. 223-227, fev. 1986.
- ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: Subsídios para Planejamento Ambiental**. São Paulo: Oficina de Texto, 2006. 208 p.
- SALDANHA, E. E. **Modelo de avaliação da sustentabilidade ambiental**. 2007. 122 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- SANTOS, C. Z. **Alterações sócio-ambientais na bacia hidrográfica do ribeirão do Lajeado no município de Paraibuna – SP**. 2007. 122 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2007.
- SILVA, A. M.; CORREIA, A. M. M.; CÂNDIDO, G. A. Ecological Footprint Method: Avaliação da Sustentabilidade no Município de João Pessoa, PB. In: CÂNDIDO, G. A. (Org.). **Desenvolvimento Sustentável e Sistemas de Indicadores de Sustentabilidade: formas de aplicações em contextos geográficos diversos e contingências específicas**. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2010. p. 236-271.
- SILVA, M. L. M.; PEREIRA, G. P. M. Avaliação de algoritmos de classificação supervisionada para imagens do Cbers-2 da Região do Parque Estadual do Rio Doce-MG. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6223-6228.
- SILVA, V. B. **A qualidade da água no alto curso do rio do Campo, município de Campo Mourão-PR**. 2014. 81 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2014.
- SILVA, V. B.; GASPARETTO, N. V. L. Qualidade da água na sub-bacia do rio do Campo - Campo Mourão-PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n.2, p. 585-600, 2016.

TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. 2005. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TUCCI, C. E. M. Água urbanas. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

TURNES, V. A. **Sistema Delos**: indicadores para processos de desenvolvimento local sustentável. 2004. 237 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Earth Explorer**. 2016. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 14 nov. 2016.

VEIGA, A. M.; SANTOS, C. C. P.; CARDOSO, M. R. D.; LINO, N. C. Caracterização hidromorfológica da bacia do rio Meia Ponte. **Revista Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 14, n. 46, p. 126-138, jun. 2013.

VIEIRA, P. M. S.; STUDART, T. M. C. Proposta Metodológica para o Desenvolvimento de um Índice de Sustentabilidade Hidro-Ambiental de Áreas Serranas no Semiárido Brasileiro - Estudo de Caso: Maciço de Baturité, Ceará. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 4, p. 125-136, out/dez, 2009.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 245 p.