

Aplicação de um índice de sustentabilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio do Campo - PR

RESUMO

A crescente preocupação em compatibilizar o desenvolvimento econômico, a preservação ambiental e a justiça social, tem fortalecido o paradigma do desenvolvimento sustentável. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo aplicar um índice de sustentabilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio do Campo - PR, a fim de subsidiar o planejamento e gestão dos recursos hídricos, empregando técnicas de geoprocessamento. O índice de sustentabilidade (IS) determinado neste estudo é constituído de três fatores, os quais foram calculados para nove sub-bacias e para a bacia do rio do Campo como um todo. Os resultados foram expressos 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 nível médio de sustentabilidade com IS de 0,64. Contudo, a obtenção do IS por sub-bacia permitiu a identificação de diversos níveis de sustentabilidade dentro da mesma área de estudo. Portanto, considera-se que o IS possa ser utilizado para um rápido diagnóstico das condições da bacia, sendo aproveitado pelas comunidades locais, instituições públicas e 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: Desenvolvimento Sustentável. Uso do solo. Fragilidade potencial. Desenvolvimento humano. Geoprocessamento.

Pauline Gottstein
paulinegottstein@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão. Paraná. Brasil.

Eudes José Arantes
eudesarantes@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão. Paraná. Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A busca pelo equilíbrio entre o crescimento econômico, a preservação ambiental e a justiça social, tem fortalecido o paradigma do desenvolvimento sustentável. No contexto mais amplo das questões ambientais, o problema da preservação dos recursos 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 (COUTO, 2007; WORLD ECONOMIC FORUM, 2018).

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).

Nesse contexto, a água com qualidade adequada e em quantidade suficiente é essencial à todos os aspectos da vida e da sustentabilidade. Os recursos hídricos estão incorporados em todas as formas de desenvolvimento (por exemplo, segurança alimentar, promoção da saúde e redução da pobreza), sustentando o crescimento econômico na agricultura, indústria, geração de energia e mantendo ecossistemas saudáveis (WORLD ECONOMIC FORUM, 2018).

Assim, os índices se tornam instrumentos fundamentais 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 (EUSTACHIO et al., 2019; JANOUŠKOVÁ; HÁK; MOLDAN, 2018).

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 (CAMPOS; RIBEIRO; VIEIRA, 2014; MAYNARD; CRUZ; GOMES, 2017).

A determinação de um índice de sustentabilidade ambiental utilizando ferramentas de geoprocessamento tem apresentado resultados consistentes, o que torna os sistemas de informação geográficas (SIGs) 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 (COUTO et al., 2020; STANGANINI; LOLLO, 2018).

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo aplicar um índice de sustentabilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio do Campo - PR, a fim de subsidiar o planejamento e gestão dos recursos hídricos, empregando técnicas de geoprocessamento.

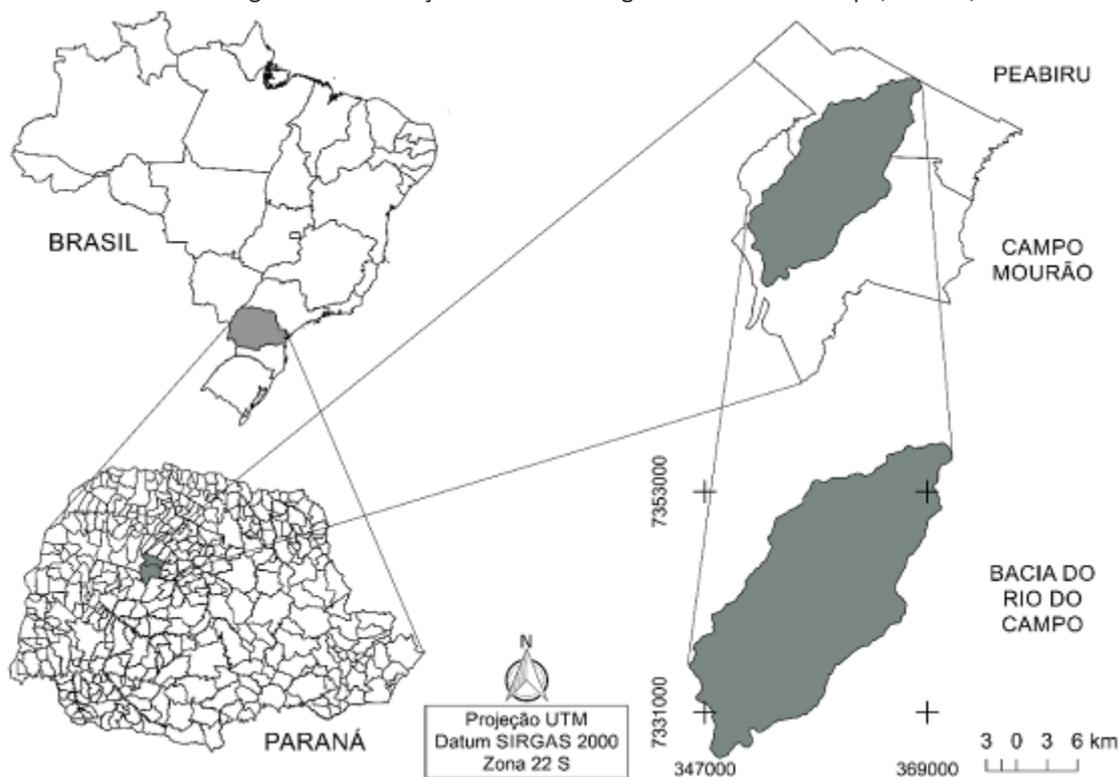
2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para aplicar um índice de sustentabilidade ambiental foram analisados estudos anteriores sobre o tema, adaptando índices e indicadores já propostos; tomando como base as recomendações presentes na Agenda 21 das Nações Unidas e os princípios metodológicos propostos pelo modelo Pressão-Estado-Impacto-Resposta (PEIR) da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE).

O índice de sustentabilidade determinado neste estudo, utilizou como premissa a 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). A essas três dimensões atribuiu-se pesos iguais para composição do índice e utilizou-se a bacia hidrográfica do Rio do Campo - PR como unidade básica de análise, sendo o índice de sustentabilidade a média aritmética das três dimensões.

A bacia hidrográfica do rio do Campo ocupa uma área de aproximadamente 383 km², sendo 238 km² no município de Campo Mourão e 145 km² no município de Peabiru, no estado do Paraná (Figura 1).

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



Base cartográfica: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021)

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.

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizado para processamento e integração dos dados foi o software QGIS 2.14.12-Essen, 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. O SIG utilizado possibilitou a elaboração dos mapas que auxiliam na interpretação dos resultados obtidos.

2.1 Índice de sustentabilidade ambiental

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.

O índice de sustentabilidade (IS) foi calculado por sub-bacia (Equação 1) e para a bacia como um todo (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.

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.

O fator de uso do solo (FUS) foi determinado pelo peso atribuído a classe de cobertura e uso da terra predominante na 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 $0 \leq S \leq 1$.

O mapeamento e classificação da cobertura e uso da terra forneceu as informações necessárias à composição do FUS. Para cada sub-bacia foi atribuído um valor, com base na classe de uso predominante.

A cada tipo de uso da terra identificado atribuiu-se um peso de acordo com os impactos que o mesmo gera no meio ambiente (Tabela 1). 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.

Tabela 1: Peso atribuído por Classe de Uso da Terra

Classes de Cobertura e Uso da terra nos Níveis I e II ¹		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

¹Manual Técnico de Uso da Terra do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2013)

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 (Tabela 2). O emprego de dados morfométricos possibilita agregar aspectos físicos da bacia ao conjunto de dados utilizados na avaliação da sustentabilidade.

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.

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

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

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

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

em que R é o peso atribuído ao índice de rugosidade da 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; Hsb é a amplitude altimétrica da sub-bacia; Dd é a densidade de drenagem na sub-bacia; Asb é a área da sub-bacia; Lt é o comprimento total dos canais por sub-bacia.

O fator de desenvolvimento humano (FDH) foi determinado 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).

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).

$$FDH = \frac{IDHE + IDHS + IDHL + IDHR}{4} \quad (7)$$

em que IDHE é a dimensão educação; IDHS é a dimensão saneamento; IDHL é a dimensão longevidade; IDHR 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 os 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, sendo 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.

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

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

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 IDHE. 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 (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 IDHE.

A dimensão saneamento (IDHS) 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).

$$IDHS = (TAA \times 0,5) + (TCE \times 0,4) + (TMD \times 0,1) \quad (9)$$

que IDHS é a dimensão saneamento; TAA é a taxa de abastecimento de água, sendo $0 \leq TAA \leq 1$; TCE é a taxa de coleta de esgotos, sendo $0 \leq TCE \leq 1$; TMD é a taxa de moradores por domicílio, sendo $0 \leq TMD \leq 1$.

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.

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 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).

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

em que IDHL é a dimensão longevidade; IDHML é o índice de desenvolvimento humano municipal, dimensão longevidade.

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 IDHL = IDHML;
- o setor ultrapassa a EVN estimada para o município, então FL irá majorar o valor do IDHML.

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).

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

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

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 IDHML 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).

$$IDHR = \frac{(\log rdpp) - (\log VR_{Mín})}{(\log VR_{Máx}) - (\log VR_{Mín})} \quad (13)$$

em que IDHR é a dimensão renda; rdpp = renda per capita dos responsáveis por domicílios particulares permanentes; VRMín é o valor de referência mínimo; VRMáx 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.

As dimensões analisadas foram classificadas de acordo com as cinco faixas de desenvolvimento humano municipal (PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO, 2013) (Tabela 3).

Tabela 3: Faixas atribuídas por Classe de Desenvolvimento Humano

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

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.

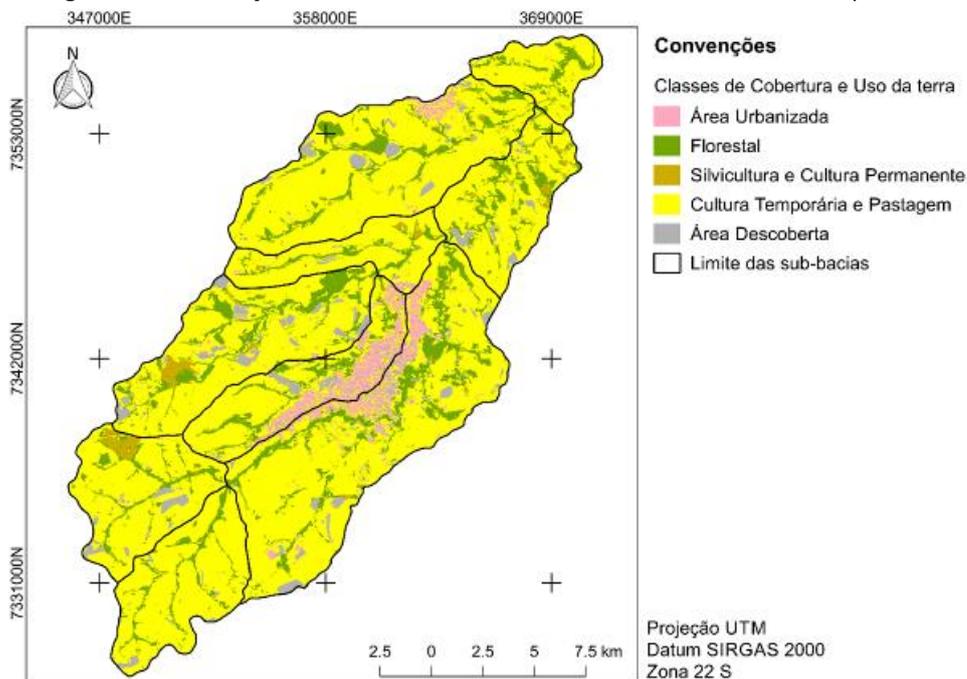
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

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, dando suporte ao planejamento e gerenciamento da área de estudo.

3.1 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 2; Tabela 4). As áreas antrópicas não agrícolas (áreas urbanas) compuseram 4,61% da área da bacia do rio do Campo.

Figura 2 - Classificação da Cobertura e uso da terra na bacia do rio do Campo - PR



Base cartográfica: Landsat 8 OLI, 11 jun. 2013, do United States Geological Survey (2016)

Tabela 4 - Fator de uso do solo atribuído às 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 ²)	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

Segundo Silva e Gasparetto (2016), a área drenada pelo alto curso do rio do Campo possui 74% de sua ocupação com agricultura, corroborando com os resultados obtidos através do mapa de cobertura e uso da terra.

3.2 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 ²)	Densidade de drenagem (km/km ²)	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

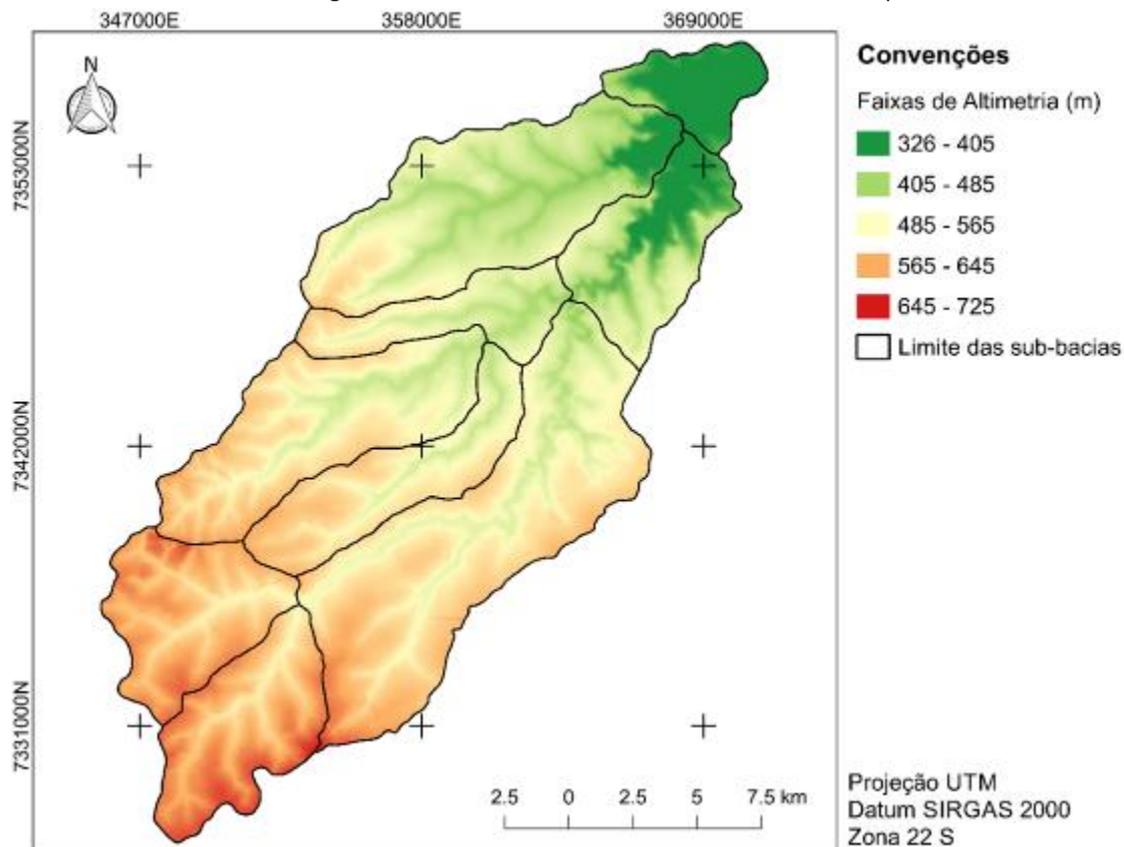
As maiores sub-bacias apresentam área de 90,71 km², 67,30 km² e 53,15 km², sendo elas, as sub-bacias 7, 2 e 5 respectivamente. Já as sub-bacias 3, 6, 8 e 9 possuem, em média, 33,71 km², sendo as menores áreas representadas pelas sub-bacias 4 (21,87 km²) e 1 (15,15 km²).

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, 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/km² 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/km², o que indica terrenos com pouca declividade, contribuindo para uma alta taxa de infiltração.

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 3). 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.

Figura 3 - Faixas de altimetria da bacia do rio do Campo - PR



Base cartográfica: SRTM do United States Geological Survey (2016)

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

Classe de rugosidade	Faixa de Índice de rugosidade	Peso
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

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).

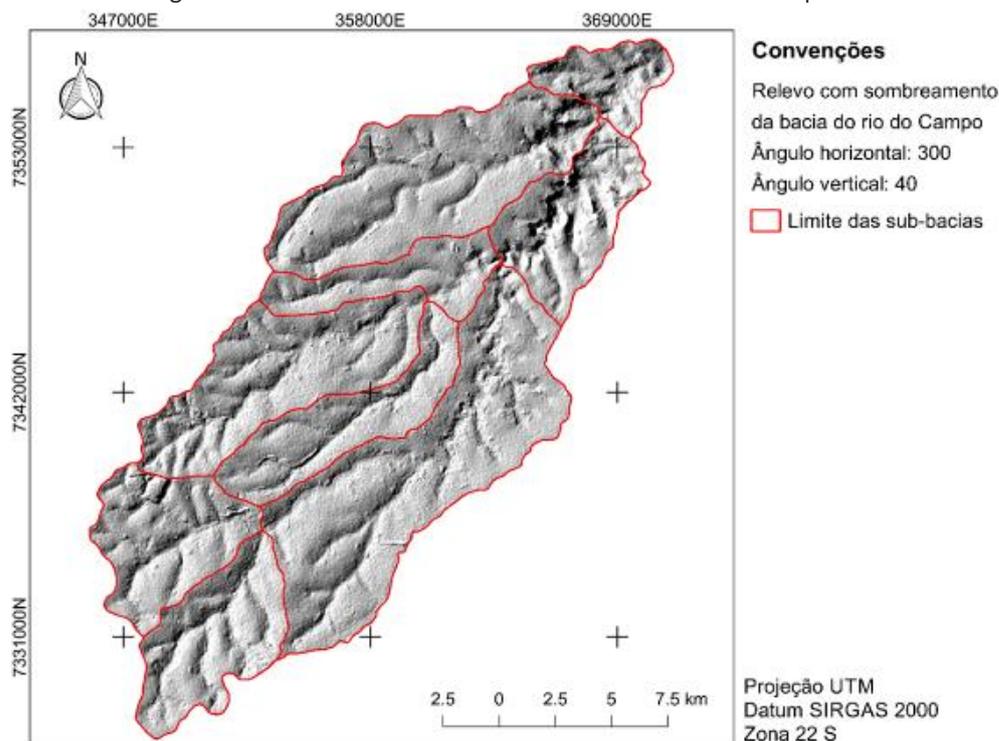
Tabela 7 - Fator de fragilidade potencial atribuído às sub-bacias do rio do Campo - PR, de acordo com o índice de rugosidade

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

Bacias hidrográficas com índice de rugosidade elevado têm maior potencial para ocorrência de cheias e são bacias de alta energia, 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 4).

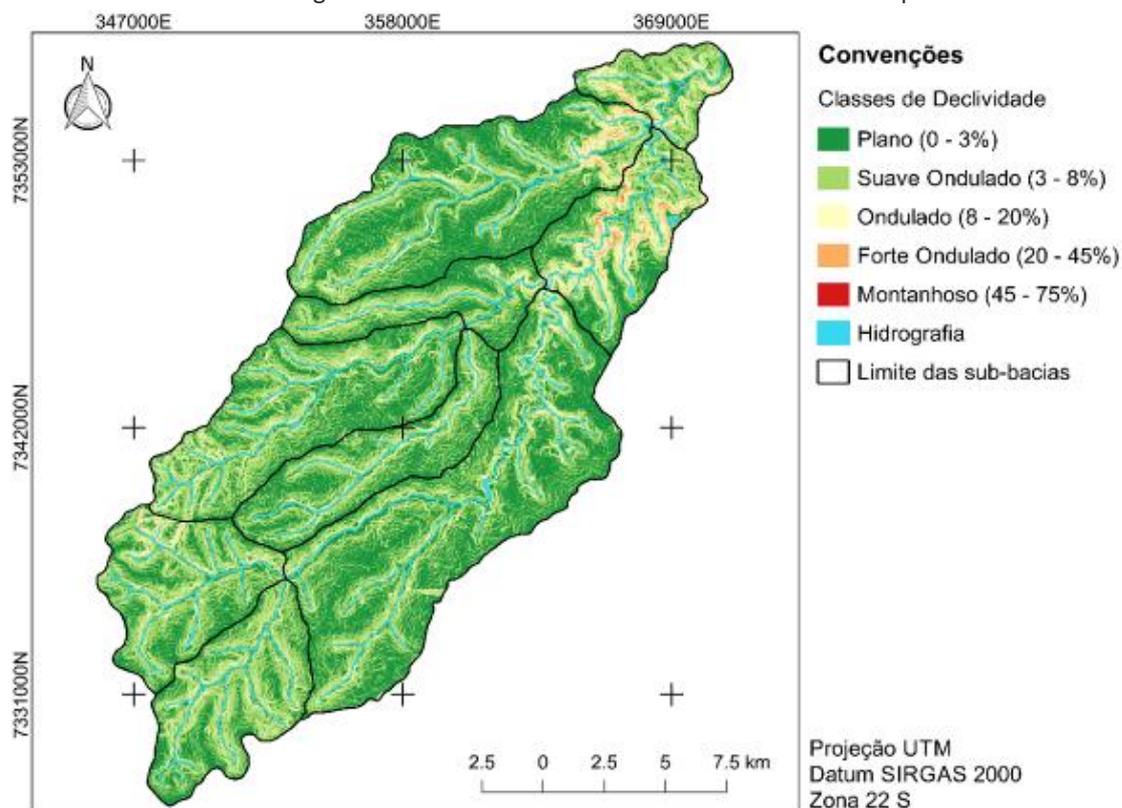
A rugosidade do terreno pode ser confirmada mediante observação da declividade da área de estudo, a qual apresenta em sua maioria relevo plano a suave ondulado, ou seja, apresenta topografia pouco acidentada. No entorno dos canais fluviais tem-se o predomínio de declividades médias – relevo ondulado –, em especial no trecho inferior da bacia em estudo (Figura 5).

Figura 4 - Relevo com sombreamento da bacia do rio do Campo - PR



Base cartográfica: SRTM do United States Geological Survey (2016)

Figura 5 - Classes de Declividade da bacia do rio do Campo - PR



Base cartográfica: SRTM do United States Geological Survey (2016)

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.

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.

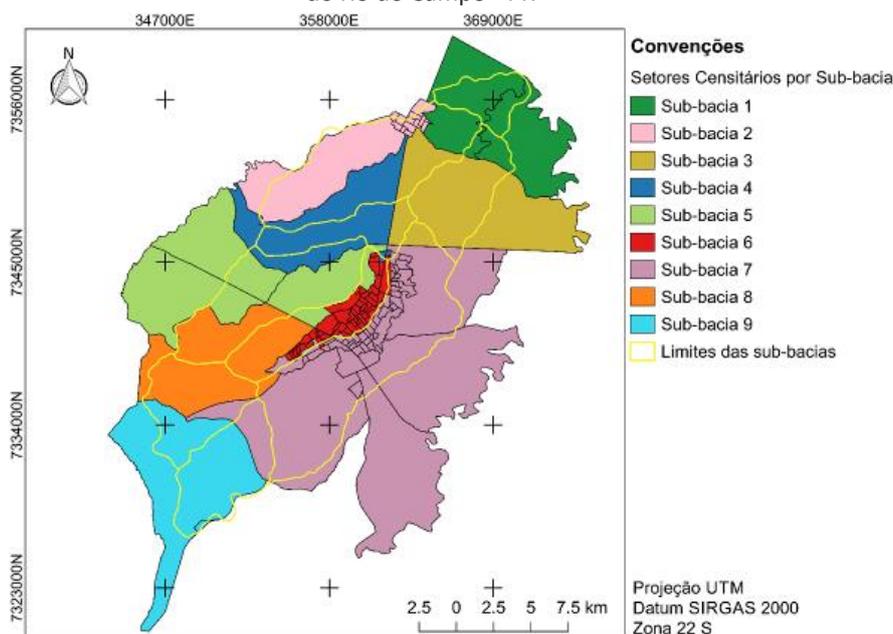
5.3 Fator de desenvolvimento humano

Os setores censitários foram utilizados como elemento de espacialização dos dados relacionados ao FDH, mediante compatibilização com a bacia hidrográfica. 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, 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.

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 6). Os setores urbanos são significativamente menores em extensão se comparados aos setores rurais.

Figura 6 - Setores Censitários que foram considerados dentro dos limites das sub-bacias do rio do Campo - PR



Base cartográfica: Setores Censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011)

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
Total	133

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 7).

Figura 7 - Resultados obtidos para as quatro dimensões que compõe o fator de desenvolvimento humano por sub-bacia do rio do Campo - PR

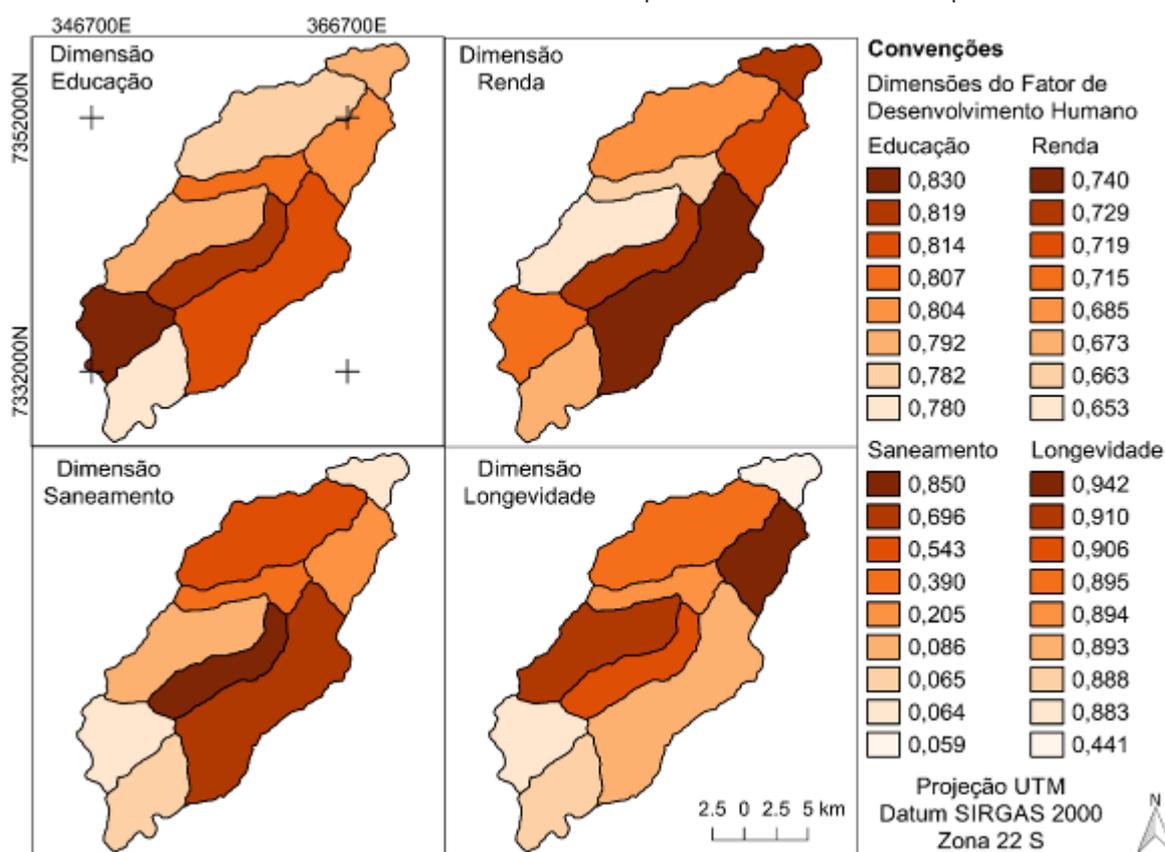


Tabela 9 - Resultados obtidos para as dimensões que compõem o fator de desenvolvimento humano por sub-bacia do rio do Campo - PR

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
Bacia do rio do Campo	0,802	0,329	0,850	0,701

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 (LIMA, 2018; 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.

Lima (2018) afirma que condições adequadas de saneamento ambiental não são observadas em países subdesenvolvidos, sendo estes incapazes de atender forma suficiente toda a população, deixando um elevado contingente exposto e vulnerável às condições precárias de moradia, sujeitas à contaminação de doenças de veiculação hídrica.

Ao tratar do saneamento básico e suas deficiências, a degradação de corpos hídricos por poluição e contaminação provocada por esgoto doméstico surge como uma questão importante nas discussões sobre a problemática ambiental. Na perspectiva sanitária, o destino adequado dos esgotos é um item essencial para o controle e prevenção de doenças, por meio da eliminação de ameaças de contaminação e poluição (LIMA, 2018).

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). Segundo Soares e Souza (2019), ao preservar a qualidade dos mananciais de abastecimento de água há promoção de saúde pública e, conseqüentemente, economia no sistema de saúde. Para isso, faz-se necessário disseminar informações acerca dos riscos potenciais da poluição da água associados com a perda da qualidade de vida, além de um gerenciamento de águas residuais.

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.

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 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 Segundo Soares e Souza (2019), para alcançar o direito à saúde, são necessárias condições que assegurem a todos o acesso universal e igualitário às ações e aos serviços que objetivam promover, proteger e recuperar a saúde, dentre eles, o saneamento básico, 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). 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 ¹
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

¹Programa 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).

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.

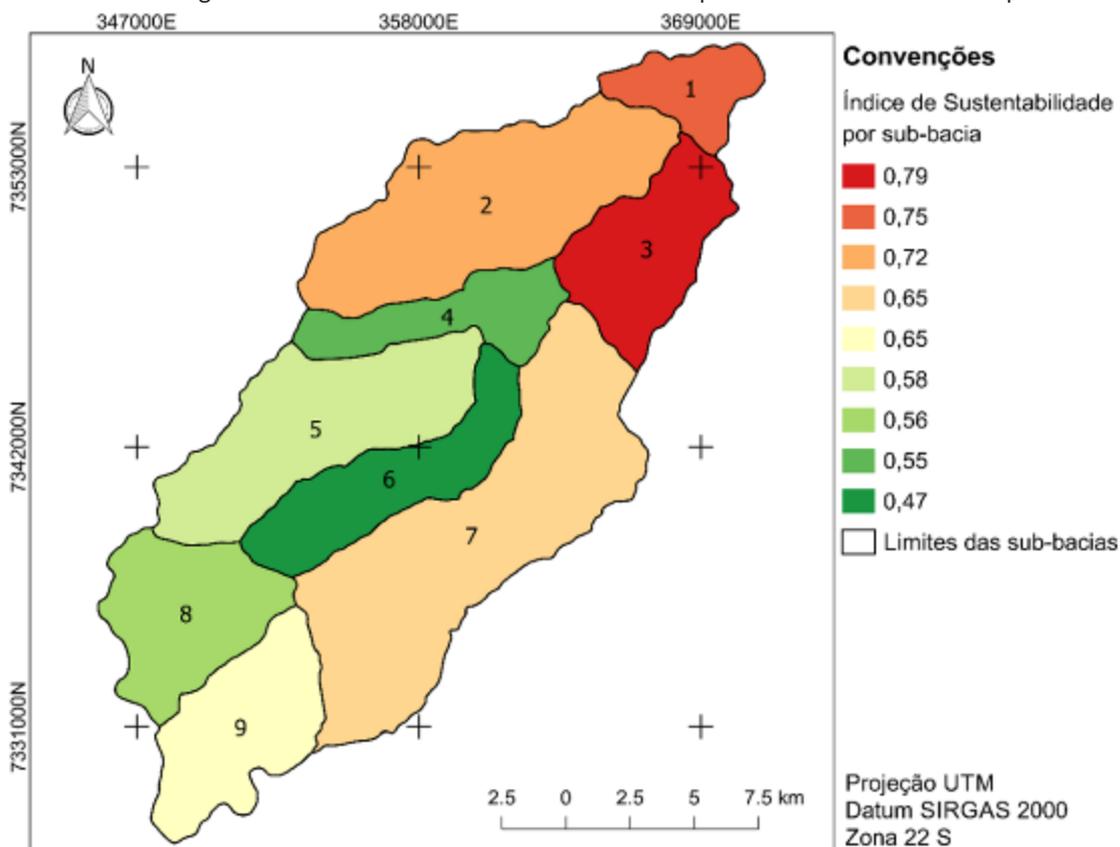
Procedendo-se à obtenção do índice de sustentabilidade, a média dos três fatores que o compõe resultaram em um fator de uso do solo de 0,55, correspondente ao menor índice, seguido pelo fator de desenvolvimento humano de 0,671 e, com o melhor desempenho, o fator de fragilidade potencial de 0,69. Os valores obtidos para estes três fatores foram aplicados na Equação 1, resultando no índice de sustentabilidade ambiental das sub-bacias do rio do Campo (Figura 8).

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
Bacia do Rio do Campo	0,55	0,69	0,671	0,64

Figura 8 - Índice de Sustentabilidade Ambiental por sub-bacia do rio do Campo - PR



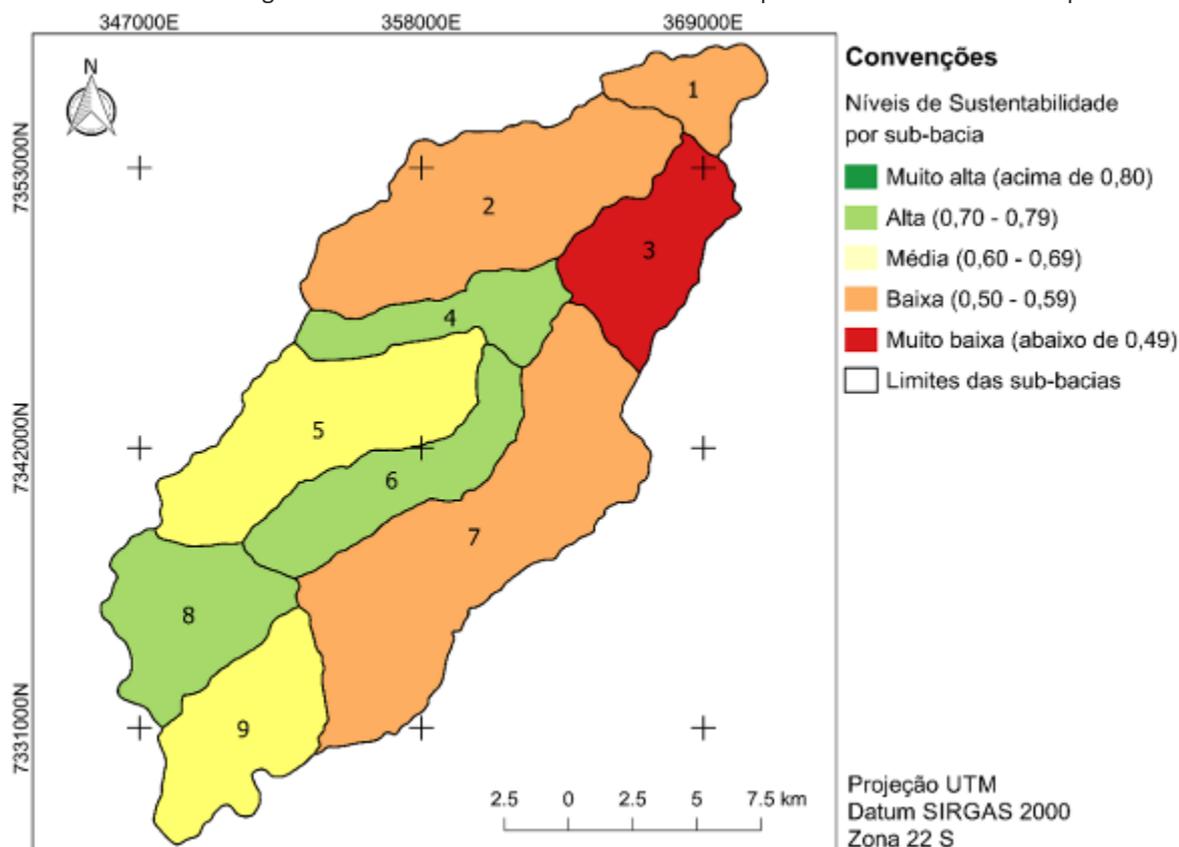
Análogo as faixas para o índice de desenvolvimento humano propostas pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (2013), pode-se considerar níveis para o índice de sustentabilidade (Tabela 12; Figura 9), o que permite sua análise de acordo com os indicadores elencados, exclusivamente, neste 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 ¹	Intervalos ²	Enquadramento das sub-bacias
Muito alta	≥ 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	≤ 0,49	3

²Adaptado do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (2013)

Figura 9 - Níveis de Sustentabilidade atribuídos por sub-bacia do rio do Campo - PR



Relacionando o índice de sustentabilidade obtido por Couto (2007), cuja metodologia foi utilizada como premissa deste 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. 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 (STANGANINI; LOLLO, 2018).

Esse cenário ocasiona uma série de impactos ambientais, como impermeabilização do solo, alterações na topografia, erosão do solo, assoreamento dos cursos d'água, perda das matas ciliares, diminuição da biodiversidade, aumento do escoamento superficial, inundações, entre outros (STANGANINI; LOLLO, 2018). 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.

À medida que se tem mais informações e controle sobre a situação dos recursos hídricos e bacias hidrográficas, a gestão pode ser aperfeiçoada em um processo de melhoria contínua, amparada em uma visão sistêmica, em bases consolidadas e confiáveis.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo foi alcançado, por meio da determinação dos fatores ambientais e socioeconômicos da bacia do rio do Campo - PR, com o auxílio de um sistema de informações geográficas e ferramentas de geoprocessamento, subsidiando o gerenciamento da bacia hidrográfica em estudo, considerando que as sub-bacias analisadas se enquadram 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.

Application of an environmental sustainability index in the Rio do Campo - PR river basin

ABSTRACT

The growing concern to reconcile economic development, environmental preservation and social justice has strengthened the paradigm of sustainable development. Therefore, the present study aimed to apply an environmental sustainability index in the Rio do Campo - PR watershed, in order to subsidize the planning and management of water resources, using geoprocessing techniques. The sustainability index (SI) determined in this study consists of three factors, which were calculated for nine sub-basins and for the Rio do Campo basin as a whole. The results were expressed as a number between zero and one, where the closer to the unit the better the sustainability condition of the basin. Thus, the Campo river basin presented an average level of sustainability with an IS of 0.64. However, obtaining the IS by sub-basin allowed the identification of different levels of sustainability within the same study area. Therefore, it is considered that the IS can be used for a quick diagnosis of the conditions of the basin, being used by local communities, public institutions and private entities, in support of the planning and management of socioeconomic and environmental actions aimed at the sustainability of the watersheds. analyzed sub-basins.

KEYWORDS: Sustainable Development. Use of the soil. Potential fragility. Human development. Geoprocessing.

REFERÊNCIAS

- 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. DOI: 10.21168/rbrh.v19n2.p209-222.
- COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. *Nosso Futuro Comum*. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991. 430 p.
- COUTO, E. V. d.; OLIVEIRA, P. B.; VIEIRA, L. M.; SCHMITZ, M. H.; FERREIRA, J. H. D. Integrating Environmental, Geographical and Social Data to Assess Sustainability in Hydrographic Basins: The ESI Approach, *Sustainability*, v.12, n. 7, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12073057>.
- 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. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/13541>. Acesso em: 05 mai. 2021.
- EUSTACHIO, J. H. P. P.; CALDANA, A. C. F.; LIBONI, L. B.; MARTINELLI, D. P. Systemic indicator of sustainable development: Proposal and application of a framework. *Journal of Cleaner Production*, v. 241, 2019. 10 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118383>.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Bases cartográficas: malhas digitais. 2021. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>. Acesso em: 25 abr. 2022.
- 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: 25 abr. 2022.
- 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: 14 jun. 2021.

JANOŠKOVÁ, S.; HÁK, T.; MOLDAN, B. Global SDGs assessments: helping or confusing indicators?. *Sustainability*, v. 10, n. 5, 2018. 14 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10051540>.

LIMA, João Sergio Queiroz de. ESTIMATIVA DO LANÇAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO POR ASSENTAMENTOS PRECÁRIOS EM LAGOAS NA CIDADE DE FORTALEZA, CEARÁ, BRASIL. **REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 11, n. 2, p. 92-107, 2018. DOI: <https://doi.org/10.22411/rede2017.1102.09>.

MAYNARD, I. F. N.; CRUZ, M. A. S.; GOMES, L. J. A sustainability index to the Japarutuba river watershed in Jergipe state. *Ambiente & Sociedade*, v. 20, n. 2, p. 201-220, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC0057R1V2022017>.

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. 2021.

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. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/90499>. Acesso em: 15 jun. 2021.

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. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.2.p585-600>.

SOARES, A. F. S.; SOUZA, L. P. S. e. Contaminação das águas de abastecimento público por poluentes emergentes e o direito à saúde. *Revista de Direito Sanitário*, v. 20, n. 2, p. 100-133, 2019. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9044.v20i2p100-133>.

STANGANINI, F. N.; LOLLO, J. A. de. The growth of the urban area of São Carlos/SP between the 2010 and 2015: The advancement of environmental degradation. *Urbe*, v. 10, p. 118-128, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.010.supl1.a014>.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. *Estudos Avançados*, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295>. Acesso em: 11 jul. 2021.

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, v. 14, n. 46, p. 126-138, jun. 2013.

WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). The Global Risks Report 2018. 13. ed. Geneva: WEF, 2018. 68 p. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_GRR18_Report.pdf. Acesso em: 26 jan. 2022.

Recebido: 20 fev. 2023.

Aprovado: 25 mar. 2023.

DOI: 10.3895/rbpd.v12n3.15658

Como citar: GOTTSTEIN, P.; ARANTES, E. J. Aplicação de um índice de sustentabilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio do Campo – PR. **R. Bras. Planej. Desenv.** Curitiba, v. 12, n. 03, p. 699-727, set./dez. 2023. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbpd>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Pauline Gottstein

Via Rosalina Maria dos Santos, 1233 - Vila Carolo, Campo Mourão - PR

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

