

# APLICAÇÃO DE ABORDAGENS METODOLÓGICAS PARA PROPOSIÇÃO DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE EM ÁREA DE NASCENTE: ESTUDO DE CASO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRAPÓ, APUCARANA, PARANÁ, BRASIL

APPLICATION OF METHODOLOGICAL APPROACHES TO PROPOSE SUSTAINABILITY INDICATORS IN A SPRING AREA: A CASE STUDY IN THE PIRAPÓ RIVER BASIN, APUCARANA, PARANÁ, BRAZIL

ANGÉLICA ARDENGUE DE ARAÚJO<sup>1</sup>, CASSIANO SAMPAIO DESCOVI<sup>2</sup>, FERNANDA DE OLIVEIRA TAVARES<sup>3</sup>, DEISE MOLINARI<sup>4\*</sup>, ANA CAROLINE RAIMUNDINI ARANHA<sup>5</sup>, ANTÔNIO CARLOS ZUFFO<sup>6</sup>, CRISTHIANE MICHIKO PASSOS OKAWA<sup>7</sup>

1. Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental, Programa de Pós Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo-São Carlos, São Paulo, Brasil; 2. Doutorando em Engenharia Civil, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil; 3. Doutora em Engenharia Química, Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Paraná, Brasil; 4. Doutora em Engenharia Química, Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Paraná, Brasil; 5. Doutora em Engenharia Química, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Paraná, Brasil; 6. Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil; 7. Doutora em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Paraná, Brasil.

\* Avenida Colombo, 5790, Zona 07, Maringá, Paraná, Brasil, CEP: 87020-900. [deisemolinari@hotmail.com](mailto:deisemolinari@hotmail.com)

Recebido em 23/05/2025. Aceito para publicação em 10/06/2025

## RESUMO

O planejamento sustentável do uso da terra deve considerar os ecossistemas em suas dimensões temporais e espaciais, garantindo a continuidade dos serviços ambientais, sociais e econômicos. As bacias hidrográficas tornaram-se estratégicas para a sobrevivência urbana, diante da crescente demanda e da degradação da qualidade da água. A proteção das áreas de mananciais é essencial para manter a capacidade dos ecossistemas de regular a disponibilidade e a qualidade da água. Este estudo tem como objetivo promover a segurança hídrica do manancial no município de Apucarana – PR, por meio da definição de indicadores de sustentabilidade para a bacia do rio Pirapó. Adotou-se uma abordagem participativa com os atores envolvidos, utilizando a metodologia de Apoio Multicritério à Decisão (MCDA), que auxilia na compreensão e estruturação de problemas relacionados à gestão de recursos hídricos. Realizou-se uma Conferência de Decisão para a elaboração de mapas cognitivos e definição dos critérios, utilizando a abordagem MACBETH para hierarquização e atribuição de pesos. Como resultado, foram definidos indicadores de sustentabilidade que orientam ações de gestão da bacia. Destacam-se: políticas públicas, fortalecimento da comunicação entre municípios e empresas em caso de acidentes, e adequação das empresas na bacia, evidenciando um processo decisório participativo, transparente e eficaz.

**PALAVRAS-CHAVE:** MCDA, Gestão de recursos hídricos, MACBETH.

## ABSTRACT

The sustainable planning of land use must consider ecosystems in both temporal and spatial dimensions to ensure the continuity

of their environmental, social, and economic services. River basins are increasingly strategic for urban survival due to growing demand and water quality degradation. Protecting water sources helps preserve ecosystem capacity to regulate water availability and quality. This study aims to promote water security in the municipality of Apucarana – PR through the definition of sustainability indicators for the Pirapó River basin. A participatory approach involving key stakeholders was adopted, using the Multicriteria Decision Analysis (MCDA) methodology. This tool supports water resource planning by helping decision-makers understand complex management issues and define criteria for sustainability. A Decision Conference was held to structure the problem and establish the criteria using a cognitive mapping method. The MACBETH approach was applied to rank and weigh these criteria. The process resulted in the definition of sustainability indicators that can guide water resource management actions. Among the most relevant indicators are: public policies, improved communication between municipalities and companies in case of accidents, and adaptation of companies within the basin. These indicators emerged from a transparent and participatory process, reflecting multiple interests and perspectives.

**KEYWORDS:**

## 1. INTRODUÇÃO

Garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos em regiões de bacia hidrográfica por meio de ferramentas de avaliação ambiental mal planejadas frequentemente resulta em estratégias ineficazes. Essas deficiências contribuem para o aumento da vulnerabilidade social e ambiental, uma vez que os interesses econômicos

costumam prevalecer nos processos de expansão urbana, enquanto as ações de políticas públicas tendem a ser insuficientes para assegurar o bem-estar da população<sup>1,2</sup>. Nesse contexto, a gestão descentralizada dos recursos hídricos — envolvendo os setores público, privado e comunitário — tem se mostrado mais eficiente e benéfica para a sociedade<sup>3-5</sup>.

No município de Apucarana, situado na região noroeste do estado do Paraná, a principal fonte de abastecimento de água está localizada na bacia hidrográfica do Rio Pirapó. As características fisiográficas da região, aliadas à sua localização geográfica, favoreceram o processo de ocupação no entorno da bacia. O constante crescimento urbano e o desenvolvimento industrial no município têm intensificado as preocupações com a fonte hídrica, uma vez que esse avanço pode comprometer os serviços ecossistêmicos prestados pela bacia, especialmente no que se refere à produção de água com qualidade e disponibilidade adequadas<sup>6-11</sup>.

Em contextos em que as avaliações envolvem critérios subjetivos, torna-se necessária a aplicação de modelos como a Análise Multicritério de Decisão (MCDA), uma vez que essa metodologia é adequada para lidar com informações qualitativas (não quantificáveis ou linguísticas) ou incompletas<sup>12-15</sup>. A MCDA também pode ser aplicada em diversas situações, tanto ambientais quanto de gestão, pois se mostra eficaz na seleção de alternativas que conciliam critérios e indicadores conflitantes entre os diferentes atores envolvidos, independentemente do setor<sup>12,16</sup>. Ainda segundo Nouri *et al.* (2013)<sup>17</sup>, a MCDA apresenta-se como uma das melhores alternativas para a resolução de problemas complexos, como é o caso da gestão de recursos hídricos.

Por meio da abordagem construtivista multicritério, com a participação de atores representativos no processo de uso da fonte de captação, torna-se possível identificar e adotar, com maior comprometimento, indicadores eficazes e viáveis para serem implementados na gestão do manancial<sup>18-20</sup>.

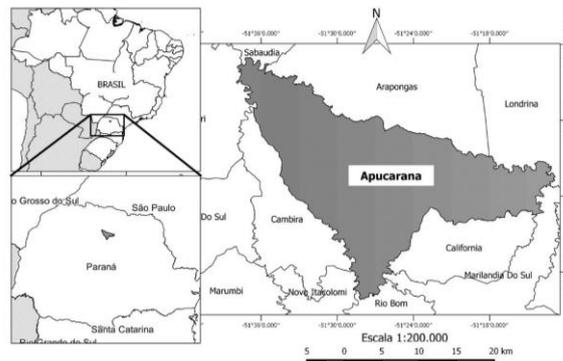
Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho é garantir a segurança hídrica da fonte de abastecimento do município de Apucarana – PR, a partir da identificação de indicadores de sustentabilidade para a bacia hidrográfica do Rio Pirapó. Para isso, adota-se uma abordagem participativa dos atores envolvidos, por meio da metodologia MCDA, a fim de subsidiar o planejamento voltado ao desenvolvimento sustentável.

A metodologia multicritério contempla diferentes modelos que podem ser aplicados em distintas linhas de pesquisa<sup>21-25</sup>. Para alcançar o objetivo deste estudo, foi aplicada a técnica de mapeamento cognitivo<sup>26-27</sup>, associada à ferramenta *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* – MACBETH<sup>28-30</sup>, reconhecida por sua eficácia na estruturação de problemas decisórios complexos por permitir a visualização de ideias, facilitar a organização e colaboração entre os participantes, e promover o diálogo e a discussão.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

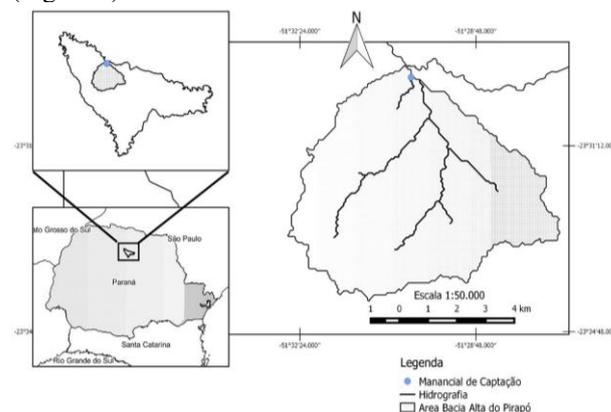
### 2.1 Caracterização da área de estudo

O município de Apucarana está localizado na região Norte do Estado do Paraná, a 370 km da capital. Possui uma extensão territorial de 558.389 km<sup>2</sup>, compreendida pelas coordenadas geográficas 23°03'30" de latitude sul e 51°24'20" de longitude oeste, com altitude média de 983 metros acima do nível do mar (Figura 1). Segundo o último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), realizado em 2010, Apucarana possui uma população de 120.919 habitantes, com uma estimativa para 2019 de 134.996 pessoas<sup>31</sup>.



**Figura 1.** Localização do município de Apucarana no Estado do Paraná. **Fonte:** Autoria Própria (2025).

Apucarana está situada no Terceiro Planalto Paranaense, sobre uma grande divisora de águas influenciada por três grandes bacias hidrográficas do Paraná: a Bacia do Rio Pirapó, a noroeste; a Bacia do Rio Tibagi, a leste; e outra bacia fluvial. Dentre essas, a Bacia do Rio Pirapó é a mais relevante, pois abastece os municípios de Apucarana e Maringá. O sistema de abastecimento de água do município é composto por dois tipos de mananciais: superficiais (um no córrego Caviúna e outro no rio Pirapó), pertencentes à Bacia do Rio Pirapó, e subterrâneos, por meio de poços profundos localizados na zona rural do município<sup>32,33</sup> (Figura 2).



**Figura 2.** Localização da fonte de água na área da bacia hidrográfica do alto rio Pirapó. **Fonte:** Autoria Própria (2025).

Aproximadamente 74% do município é abastecido por água superficial, com uma vazão total de 260 L.s<sup>-1</sup>, sendo o restante suprido por poços profundos, que juntos produzem 143.5 L.s<sup>-1</sup> (Prefeitura de Apucarana,

2017).<sup>34</sup>

## 2.2 Procedimentos metodológicos

A metodologia utilizada neste estudo teve início com o processo construtivo da abordagem MCDA, propondo o uso integrado das técnicas de mapeamento cognitivo e da abordagem MACBETH<sup>27</sup>.

Segundo Faria *et al.* (2018)<sup>27</sup>, ao integrar esses dois métodos, o mapeamento cognitivo é utilizado para definir os critérios que serão incluídos no modelo MACBETH, com o objetivo de calcular os pesos desses critérios e facilitar a compreensão do problema. A aplicação da metodologia é facilitada por um software chamado M-MACBETH, que constrói as funções de valor por meio de programação linear e realiza os julgamentos dos critérios, podendo inclusive identificar inconsistências na formulação das matrizes de julgamento<sup>35</sup>.

O software M-MACBETH é uma ferramenta gratuita disponível na internet, porém, com a limitação de análise de apenas cinco critérios. Para este estudo, foi firmada uma parceria com a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), que possui a licença do programa no Departamento de Recursos Hídricos, eliminando a restrição quanto ao número de critérios.

Para a definição dos indicadores de sustentabilidade, foi realizado um evento denominado Conferência de Gestão Participativa, nos dias 13, 14 e 15 de março de 2019, das 8h30 às 12h, no anfiteatro da Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR), campus Apucarana/PR. A conferência contou com a participação de representantes do setor público, empresários com interesse na área do manancial, sociedade civil organizada, Ministério Público, entre outros. Participaram 34 pessoas no primeiro dia, 43 no segundo e 38 no terceiro. As listas de presença estão apresentadas no Anexo A.

A conferência foi conduzida por dois moderadores principais, com o auxílio de outros dois, responsáveis por auxiliar na construção do mapa cognitivo e na estruturação dos resultados. Com base nos procedimentos metodológicos de Faria *et al.* (2018),<sup>27</sup> este estudo foi dividido em três fases principais: estruturação, avaliação e recomendações.

### a) Fase de Estruturação

Nesta etapa, o rótulo (objetivo) foi definido pelos participantes. Em seguida, os participantes foram convidados a refletir e propor, por escrito, quais seriam os aspectos essenciais para alcançar esse rótulo, considerando as dimensões ambiental, social e econômica. Todos os valores apresentados pelos participantes foram explicitados, considerando os aspectos relevantes para o processo decisório, utilizando a técnica de post-its proposta por Bana *et al.* (2012)<sup>36</sup>.

Após a coleta dos post-its, os moderadores os agruparam nas categorias ambiental, social e econômica, e os participantes foram organizados em grupos, conforme suas áreas de interesse. À medida que os valores registrados nos post-its eram discutidos,

os moderadores incentivavam o diálogo entre os atores para a construção dos mapas cognitivos por eixo temático.

O mapa cognitivo foi estruturado com base na aplicação da técnica proposta por Fantinatti *et al.* (2015)<sup>37</sup>, apresentada na Figura 3.



**Figura 3.** Modelo de mapa cognitivo aplicado no estudo. **Fonte:** Autoria Própria (2025).

O primeiro nível do mapa refere-se ao Rótulo ou Objetivo a ser alcançado. O segundo nível estabelece os critérios definidos pelos participantes da conferência para atingir esse objetivo, a partir da pergunta: “Por que esse critério é importante para alcançar o rótulo?”. Inicialmente, esses critérios são denominados Elementos Primários de Avaliação (EPA), pois, durante a conferência, devem ser analisados e avaliados pelos participantes até sua definição como critério. O terceiro nível corresponde à forma de medir e controlar o critério (Como medir?), pois, se um critério não puder ser mensurado, ele não pode ser considerado um critério<sup>38</sup>.

Os mapas cognitivos por eixo foram organizados pelos moderadores com o auxílio de um software de acesso livre, chamado *Visual Understanding Environment* (VUE).

### b) Fase de Avaliação

A ferramenta computacional M-MACBETH foi utilizada para definir as hierarquias dos critérios, construir as funções de valor e obter a ponderação de cada critério, com base nas preferências e significância atribuídas. O processo de quantificação é realizado por meio da solicitação aos atores para que expressem verbalmente a diferença de atratividade entre critérios alternativos, utilizando as categorias semânticas apresentadas pela ferramenta, formando uma matriz (n x n) com nações que podem alcançar o rótulo<sup>26</sup>.

Com os critérios definidos após a finalização do mapa cognitivo, eles são inseridos no programa M-MACBETH para serem avaliados. Primeiramente, os critérios são hierarquizados em ordem decrescente, do mais importante para o alcance do rótulo ao menos

importante — embora todos permaneçam significativos.

A hierarquia representa a diferença de valor entre os critérios em uma escala padronizada, e não simplesmente o quanto um critério vale mais que o outro. Segundo Keeney (1992)<sup>38</sup>, este é um dos erros críticos mais comuns em métodos multicritério.

Em seguida, os critérios são classificados como quantitativos ou qualitativos, as performances são inseridas e os atores devem definir os níveis de referência superior e inferior para cada critério<sup>36</sup>. Conforme já apresentado no referencial teórico, esses níveis de referência são baseados no desempenho mais atrativo e no menos atrativo e recebem uma pontuação de 0 a 100, de acordo com o comportamento estabelecido pelos participantes. No entanto, essas pontuações não implicam necessariamente que sejam os melhores ou piores desempenhos de uma alternativa em determinado critério<sup>39</sup>.

Após a definição das funções de valor, constrói-se uma matriz de julgamento não numérica, baseada na diferença de atratividade entre os critérios em comparações pareadas, para obter o peso dos critérios. A escala de quantificação é feita por meio de categorias semânticas: "muito fraco", "fraco", "moderado", "forte", "muito forte" e "extremo". Os autores, quando necessário, podem modificar e reorganizar as ações, caso a escala semântica predefinida se mostre inadequada ou quando o método identificar inconsistências entre os julgamentos, permitindo aos tomadores de decisão realizar os ajustes necessários<sup>28</sup>.

Uma vez concluída a construção da matriz de julgamentos, o software gera um gráfico com os pesos atribuídos a cada critério. Para Keeney (1996)<sup>38</sup>, os critérios devem refletir adequadamente os objetivos estratégicos dos tomadores de decisão, de modo a delimitar as ações que conduzirão ao alcance do rótulo. O autor também apresenta nove requisitos que os critérios devem atender para serem considerados adequados: essenciais, controláveis, completos, mensuráveis, operacionais, isoláveis, não redundantes, concisos e compreensíveis.

#### c) Fase de Recomendações

Com os resultados obtidos, é possível analisar e explorar o valor agregado a cada critério definido para a sustentabilidade da bacia, assim como as vantagens e lacunas da estrutura. Podem ser feitas propostas para contribuir com o sucesso do objetivo (*label*).

Vale ressaltar que um dos propósitos do estudo é a aplicação de um modelo de avaliação multicritério que possa auxiliar na consecução do objetivo proposto. Nesse sentido, não se busca obter uma solução ótima, mas sim um sistema de apoio à decisão final com indicadores de sustentabilidade para a bacia hidrográfica do rio Pirapó, ou seja, a solução mais comprometida com os critérios definidos.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Consolidação do mapa cognitivo e definição de critérios no primeiro dia de

## conferência

### a) Fase de estruturação

Na fase inicial da conferência, foram apresentadas aos participantes três alternativas de rotulagem para votação: Proteção integral da área do manancial; Desenvolvimento sustentável da área da bacia hidrográfica; Ocupação mais intensiva da área do manancial.

A escolha pela alternativa 2 – “Desenvolvimento sustentável da bacia hidrográfica” - destacou-se significativamente entre os participantes. Com isso, o rótulo selecionado para direcionar as discussões foi: "Desenvolvimento sustentável da bacia do Rio Pirapó na área de manancial do município de Apucarana – PR."

A partir da definição do rótulo, iniciou-se a etapa de definição dos critérios candidatos. Os participantes foram incentivados a refletir sobre parâmetros, critérios ou palavras-chave considerados essenciais para a concretização do objetivo estabelecido, levando em conta as dimensões ambiental, econômica e social da sustentabilidade.

Os mapas cognitivos elaborados no primeiro dia, representando os Elementos Primários de Avaliação (EPA) para cada dimensão, foram estruturados com a técnica de post-its e estão descritos nas Tabelas 1, 2 e 3. Optou-se por apresentá-los em formato tabular, uma vez que a estrutura dos mapas não permitia sua representação gráfica de maneira suficientemente clara e relevante para fins de publicação científica.

**Tabela 1.** Descrição do mapa cognitivo referente ao aspecto Social, resultante da discussão em grupo no primeiro dia.

<b>Label:</b> Desenvolvimento sustentável da bacia do rio Pirapó na área de manancial de Apucarana	
<b>Eixo:</b> Social	
<b>Critério Discutido</b>	<b>Como Medir?</b>
Educação ambiental e política pública	Pesquisa com a população ao longo do tempo
Desconforto à população por odor	Diagnóstico e monitoramento de substâncias
Desvalorização de propriedades devido ao odor	Índices monetários econômicos
Priorizar expansão urbana em outras áreas	Plano diretor
Estudos alternativos para mitigar impactos da ocupação existente	Contratação de projetos
Direito social X direito à saúde	Estudos de longo prazo
Criação de parques voltados ao lazer	Plano diretor
Viabilidade de sustentabilidade na geração de emprego e renda na área de manancial	Contratação de projetos
Definição da densidade populacional máxima	Plano diretor
Vincular o plano diretor à legislação estadual quanto à instalação de novos empreendimentos poluentes	Plano diretor

Proposta de plano de contingência para empreendimentos	Prefeitura de Apucarana
--	-------------------------

Fonte: Autoria Própria (2025).

**Tabela 2.** Descrição do mapa cognitivo referente ao aspecto Econômico resultante da discussão em grupo no primeiro dia.

<b>Label:</b> Desenvolvimento sustentável da bacia do rio Pirapó na área de nascente de Apucarana	
<b>Eixo:</b> Econômico	
<b>Critério Discutido</b>	<b>Como Medir?</b>
Incentivo para empresas que desejam se realocar	Concessão de incentivos fiscais (isenção de impostos) pela prefeitura
Empresas que permanecerem devem cumprir normas ambientais	Fiscalização
Turismo como gerador de empregos na bacia	Criação de índices monetários
Cobrança pelo uso da água; Fundo da iniciativa privada; Fundo municipal de meio ambiente	
Aumento da contribuição das empresas	Número de empregos gerados; taxa de desemprego
Conscientização e educação – Agricultura familiar	Incentivos à produção orgânica e de baixo impacto; presença de saneamento; número de propriedades envolvidas
Plano diretor não permite instalação de novos empreendimentos ou exige instalação correta	Plano diretor
Plano diretor	
Aplicação do Plano Municipal de Gestão dos Recursos Hídricos	
Aplicação do Plano de Bacia	
Restrição de ocupação próxima à nascente (somente residencial)	

Fonte: Autoria Própria (2025).

**Tabela 3.** Descrição do mapa cognitivo referente ao aspecto Ambiental, resultante da discussão em grupo no primeiro dia.

<b>Label:</b> Desenvolvimento sustentável da bacia do rio Pirapó na área de nascente de Apucarana		
<b>Eixo:</b> Ambiental		
<b>Critério Discutido</b>	<b>Por que é importante?</b>	<b>Como Medir?</b>
Recuperação / Restauração das APP (Áreas de Preservação Permanente)	Plano de reflorestamento; CAR (Cadastro Ambiental Rural); uso de drone; mapeamento; TAC (EMATER); aplicação do novo código florestal	
Identificação da poluição difusa (rural e urbana)	CAR; georreferenciamento; cadastros (Instituto das Águas; IAP; imobiliário; rede de drenagem)	Cruzamento dos dados ambientais; marco para outorga e licenciamento
Valorização do produtor rural	Poder Público; premiações e bônus para estímulo; audiências; fóruns de discussão	Promover recuperação e preservação; educação das novas gerações; interdisciplinaridade; estímulo ao valor agregado; conscientização

Educação ambiental na zona rural	Sanepar; EMATER; reuniões; visitas domiciliares; incentivos à proteção/preservação	
Exploração do aquífero Guarani para abastecimento	Qualidade da água livre de poluentes	
Manejo e conservação do solo	Turbidez da água; legislação e pró-solo	Prevenir que sólidos cheguem à nascente
Revisão das leis ambientais municipais	Plano diretor e novo decreto da SEMA	Atualização da lei; loteamento compatível com a realidade
Obrigatoriedade de apresentação do plano de contingência empresarial	Fiscalização (IAP; Secretaria do Meio Ambiente)	
Levantamento de empresas poluidoras	Sanepar; fiscalização; vigilância sanitária além do Ministério Público	
Estabelecer comunicação entre órgãos/empresas em caso de acidente	Defesa Civil emite nota urgente para gestores e usuários	
Revisão do zoneamento da bacia	Prefeitura, revisão do plano diretor	
Restrição de ocupação	Lei estadual de manancial; Instituto das Águas (outorga e licenciamento)	

Fonte: Autoria Própria (2025).

Como se observa nas Tabelas 1, 2 e 3, nem todas as colunas foram completamente preenchidas, em razão do tempo reduzido disponível para essa etapa. No entanto, todos os elementos levantados foram discutidos e serão analisados na próxima fase do estudo.

Destaca-se que, no âmbito das dimensões social e econômica, alguns elementos mencionados na coluna referente a "Como medir?" indicaram o uso do Plano Diretor como instrumento. Segundo os participantes, a revisão do Plano Diretor do município está prevista, e os critérios consolidados ao final da conferência serão fundamentais para subsidiar essa revisão.

### 3.2 Consolidação do mapa cognitivo e definição de critérios no segundo dia de conferência

A consolidação do mapa cognitivo teve início de forma colaborativa com todos os participantes presentes no segundo dia da conferência. Com o rótulo (objetivo) definido no primeiro dia e o mapa cognitivo completo estruturado com todos os aspectos e seus respectivos Elementos Primários de Avaliação (EPAs), foi aberta uma discussão para analisar a essencialidade e a relevância de cada elemento na consecução do objetivo proposto, bem como a viabilidade de sua mensuração e controle de desempenho.

A partir análise dos EPAs, foi possível definir os

critérios preliminares, uma vez que alguns elementos foram descartados pelos participantes por serem redundantes, não mensuráveis ou incontroláveis. Entre os elementos eliminados, destacam-se: Restrição da ocupação próxima à nascente (somente residencial), Aumento da contribuição de empresas, Plano Diretor não permite instalação de novas empresas ou apenas com instalação adequada, Manejo e conservação do solo, Levantamento de empresas poluidoras e Definição da densidade populacional máxima, entre outros. O mapa cognitivo consolidado com base na primeira avaliação de todos os EPAs está apresentado nas Tabelas 4, 5 e 6. Ressalta-se que as deliberações realizadas podem ser revistas e modificadas no decorrer da conferência, conforme o avanço das discussões.

**Tabela 4.** Descrição do mapa cognitivo referente ao aspecto social resultante da discussão em grupo no segundo dia.

<b>Label:</b> Desenvolvimento sustentável da bacia do rio Pirapó na área da nascente de Apucarana	
<b>Eixo:</b> Social	
<b>Critério Discutido</b>	<b>Como medir?</b>
<b>Educação Ambiental e Políticas Públicas</b>  Direito Social x Direito à Saúde Viabilidade e sustentabilidade na geração de emprego e renda na área da nascente Vincular o plano diretor à legislação estadual quanto à instalação de novos empreendimentos poluentes Definição da densidade populacional máxima Criação de parques com foco em lazer	Pesquisa com a população ao longo do tempo Estudos de longo prazo Contratação de projetos  Plano de diretor  Plano diretor Plano diretor
<b>Desconforto da população pelo odor</b>	Diagnóstico e monitoramento das substâncias
<b>Desvalorização imobiliária causada pelo odor</b>	Índices econômicos e monetários

**Fonte:** Autoria Própria (2025).

**Tabela 5.** Descrição do mapa cognitivo referente ao aspecto econômico resultante da discussão em grupo no segundo dia.

<b>Label:</b> Desenvolvimento sustentável da bacia do rio Pirapó na área da nascente de Apucarana	
<b>Eixo:</b> Econômico	
<b>Critério Discutido</b>	<b>Como Medir?</b>
<b>Adequação das atividades empresariais na bacia</b>  Empresa que permanecer deve cumprir as normas ambientais Incentivo para empresas que desejarem se realocar	Fiscalização  Cessão de terrenos e incentivo fiscal (impostos) pela prefeitura
<b>Turismo para geração de empregos na bacia</b>	Criação de índices monetários
<b>Agricultura familiar</b>	Incentivo à produção orgânica e a sistemas de baixo impacto; número de propriedades do entorno (manejo e conservação do solo)
Priorizar a expansão urbana em outras áreas	Plano diretor

**Fonte:** Autoria Própria (2025).

**Tabela 6.** Descrição do mapa cognitivo referente ao aspecto ambiental resultante da discussão em grupo no primeiro dia.

<b>Label:</b> Desenvolvimento sustentável da bacia do rio Pirapó na área da nascente de Apucarana	
<b>Eixo:</b> Ambiental	
<b>Critério Discutido</b>	<b>Como Medir?</b>
<b>Criação do selo verde</b>	Sanepar; fiscalização; vigilância sanitária e atuação do Ministério Público
<b>Fortalecer a comunicação entre órgãos municipais / empresas em caso de acidente</b>	A partir da defesa civil, emissão de comunicado urgente aos gestores e usuários

**Fonte:** Autoria Própria (2025).

A análise das Tabelas 4, 5 e 6 evidencia que diversos Elementos Primários de Avaliação foram removidos por não serem considerados fundamentais ou por não atenderem aos critérios técnicos de elegibilidade. Os elementos destacados em negrito nas tabelas são aqueles considerados essenciais para a efetivação do rótulo. Outros elementos foram realocados como subcritérios, dada sua significativa relevância para a sustentabilidade da bacia, mas enquadram-se dentro de indicadores já consolidados, por estarem intrinsecamente ligados ao escopo temático tratado. Um exemplo é o critério “Educação Ambiental e Políticas Públicas”, que abarcou diversos elementos avaliados pelos participantes.

Dentre os elementos mencionados e posteriormente descartados, destacam-se aqueles que estão contemplados na revisão do Plano Diretor Municipal, tais como: Manejo e conservação do solo, Revisão do zoneamento da bacia, Uso e ocupação do solo, Restrições de ocupação, Levantamento de empresas poluidoras, Revisão da legislação ambiental municipal e Recuperação/Restauração de Áreas de Preservação Permanente (APP).

Outro ponto discutido refere-se à exploração do Aquífero Guarani para abastecimento, que gerou opiniões divergentes. Embora se apresente como uma alternativa de captação hídrica, essa opção é considerada economicamente inviável, devido à incerteza na perfuração do solo — que pode não resultar em disponibilidade de água — e à possibilidade de obtenção de água em temperatura elevada, conforme já relatado na região.

Elementos como o “Proposto Plano de Contingência de Riscos para Empreendimentos” e a “Apresentação obrigatória do Plano de Contingência das empresas” também foram discutidos. Tais itens poderão ser abordados futuramente pelos usuários no contexto do licenciamento de atividades na bacia e serão considerados como indicadores relacionados ao fortalecimento da comunicação entre empresas e os órgãos municipais.

O segundo dia da conferência foi concluído com a consolidação do Mapa Cognitivo, resultando na definição de nove critérios preliminares:

1. Educação ambiental e políticas públicas;
2. Desconforto da população devido a odores;
3. Desvalorização imobiliária causada por odores;
4. Adequação das empresas inseridas na bacia;

5. Fomento ao turismo como gerador de emprego na bacia;
6. Incentivo à agricultura familiar;
7. Priorização da expansão urbana em outras áreas;
8. Criação de um selo verde;
9. Fortalecimento da comunicação entre órgãos municipais e empresas em caso de acidentes.

### 3.3 Aplicação do Método MACBETH e Determinação dos Pesos de Cada Critério

Etapa de Avaliação: Após o esclarecimento dos resultados do dia anterior e da metodologia adotada, iniciou-se a hierarquização dos nove critérios previamente definidos. Os participantes foram orientados a organizar os critérios conforme sua relevância, ou seja, de acordo com a prioridade das ações a serem implementadas para o alcance do objetivo.

Na primeira rodada de discussões, a hierarquia estabelecida foi a seguinte:

1. Adequação das empresas na bacia;
2. Priorização da expansão urbana em outras áreas;
3. Educação ambiental e políticas públicas;
4. Desconforto à população devido ao odor;
5. Desvalorização imobiliária por odor;
6. Turismo para geração de empregos na bacia;
7. Fortalecimento da comunicação entre o município e as empresas em caso de acidentes;
8. Agricultura familiar;
9. Selo verde.

Durante a fase de definição das funções de valor de cada critério, foi realizada a categorização dos mesmos em qualitativos ou quantitativos, além do estabelecimento dos parâmetros mínimos aceitáveis e desejáveis para cada um. No entanto, essa análise revelou a necessidade de ajustes: exclusão de critérios, modificação de nomenclaturas e uma nova hierarquização.

O critério “Selo Verde” foi removido por ser considerado um parâmetro vinculado às “Políticas Públicas”. Identificou-se também a necessidade de desmembramento do critério “Educação Ambiental e Políticas Públicas” em dois distintos, devido às diferenças nos parâmetros de avaliação. Assim, os critérios foram redefinidos como “Educação Ambiental” e “Políticas Públicas”. Além disso, dois critérios tiveram seus nomes ajustados para melhor contemplar os impactos ambientais gerais na bacia, não apenas os relacionados ao odor: “Desconforto à população devido ao impacto ambiental” e “Desvalorização imobiliária por impacto ambiental”.

Com a nova estrutura de critérios e seus respectivos parâmetros consolidados, foi possível iniciar a construção da matriz de julgamentos de valor, na qual os critérios são comparados em pares para a construção de escalas de preferência. Esse procedimento permite a quantificação do desempenho dos critérios analisados. Contudo, observou-se inconsistência nos julgamentos,

evidenciando inadequações na hierarquia inicial, o que levou à realização de uma nova rodada de hierarquização.

A nova hierarquia de critérios definida foi:

1. Políticas públicas;
2. Fortalecimento da comunicação entre município e empresas (em casos de acidentes);
3. Adequação das empresas na bacia;
4. Realocação das empresas;
5. Educação ambiental;
6. Desconforto à população por impacto ambiental;
7. Desvalorização imobiliária por impacto ambiental;
8. Agricultura familiar;
9. Turismo para geração de empregos na bacia.

A Figura 4 apresenta a matriz de julgamentos construída de forma participativa no terceiro e último dia da conferência, estando completa e com julgamentos consistentes conforme a abordagem do método MACBETH. A partir da matriz, foram gerados os pesos relativos de cada critério, ilustrados na Figura 5. A Tabela 7 apresenta os critérios definidos como indicadores de sustentabilidade, com seus respectivos pesos, voltados ao alcance do objetivo “Desenvolver a Sustentabilidade na Bacia Hidrográfica do Rio Pirapó”, conforme deliberado na Conferência de Gestão Participativa.

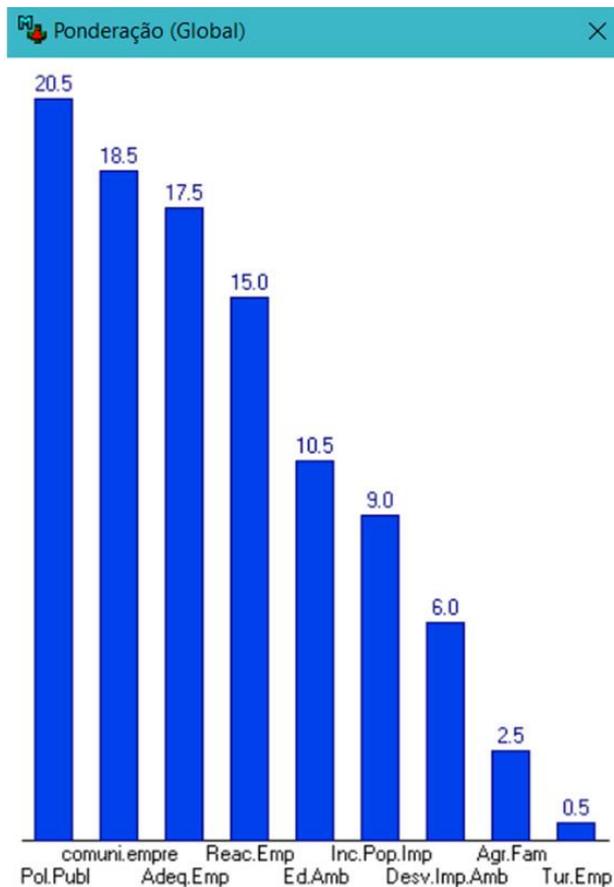
Figura 4: Matriz de julgamento de valor dos critérios definidos conforme sua atratividade e relevância, utilizando a escala semântica no terceiro dia da conferência.

A análise dos pesos revela que os quatro primeiros critérios concentram os maiores valores, com variações máximas de 2,5 pontos entre eles, sendo, portanto, considerados os mais relevantes para a sustentabilidade da bacia do Pirapó em Apucarana.

Desde o início das discussões, as “Políticas Públicas” foram apontadas como essenciais para a conservação e preservação da bacia. Devido à sua expressividade, tornou-se um critério independente da Educação Ambiental, uma vez que a legislação vigente e os parâmetros de avaliação propostos (fiscalização, incentivos fiscais e selo verde) asseguram que as atividades na área da bacia promovam a sustentabilidade.

O critério “Fortalecimento da comunicação entre município e empresas em caso de acidentes” foi amplamente destacado, considerando tanto as atividades internas da bacia quanto as infraestruturas de transporte (rodovias e ferrovias) que a atravessam. Os

participantes defenderam que a melhoria da comunicação entre os entes poderia viabilizar ações emergenciais mais eficazes, minimizando ou evitando impactos ambientais.



**Figura 5.** Gráfico com a ponderação de cada critério. **Fonte:** Autoria Própria (2025).

**Tabela 7.** Peso de cada critério definido como indicador de sustentabilidade para o Desenvolvimento Sustentável na Bacia do Rio Pirapó, estabelecido na Conferência de Gestão Participativa, realizada de 13 a 15 de março em Apucarana – PR.

Critério	Peso
Políticas públicas	20,5
Fortalecer a comunicação entre município / empresas em caso de acidente	18,5
Adequação das empresas à bacia	17,5
Realocação do empreendimento	15,0
Educação ambiental	10,5
Desconforto da população por impacto ambiental	9,5
Desvalorização imobiliária por impacto ambiental	6,0
Agricultura familiar	2,5
Turismo para geração de empregos na bacia	0,5

**Fonte:** Autoria Própria (2025).

Os critérios “Adequação das empresas na bacia” e “Realocação de empreendimentos” indicam a disposição dos participantes em promover ações conservacionistas, incluindo a sugestão de incentivos fiscais para realocação das empresas em áreas menos sensíveis.

A Educação Ambiental, embora não esteja entre os critérios de maior peso, foi reconhecida como fundamental para a conscientização da sociedade acerca da importância da conservação da nascente. Trata-se de uma ação de longo prazo, que requer continuidade para gerar resultados efetivos.

Os critérios “Desconforto à população” e “Desvalorização imobiliária”, ambos por impacto ambiental, também são importantes, pois afetam diretamente os moradores da área da nascente, gerando impactos sociais e econômicos.

O critério “Agricultura Familiar” ganha relevância pela aplicação de técnicas conservacionistas do solo, fundamentais para o controle da erosão, a gestão financeira sustentável e o uso responsável de defensivos agrícolas.

Por fim, o critério “Turismo para geração de empregos na bacia” é visto como uma estratégia complementar de conservação dos recursos naturais, associada à geração de renda e desenvolvimento local, promovendo a sustentabilidade econômica, social e ambiental da bacia hidrográfica.

Etapa de Recomendações: Recomenda-se que os participantes da Conferência de Gestão Participativa permaneçam atuantes, colaborando e fiscalizando a aplicação dos critérios definidos como indicadores de sustentabilidade da fonte de captação de água da Bacia Hidrográfica do Rio Pirapó. Espera-se que as decisões sejam efetivadas pelos órgãos competentes, inclusive por meio da revisão e instituição de um novo Plano Diretor municipal, incorporando as alterações necessárias para garantir a segurança hídrica da região.

Destaca-se que um dos principais objetivos do estudo foi aplicar um modelo de avaliação multicritério que contribua para o alcance do propósito estabelecido, não visando uma solução ótima, mas sim uma solução de maior comprometimento coletivo. Por definição, o modelo propõe recomendações, sem impor escolhas, com foco na construção de uma decisão final pautada em indicadores de sustentabilidade, a ser validada com os atores envolvidos, tomadores de decisão e participantes da conferência<sup>26,27</sup>.

## 4. CONCLUSÃO

A Conferência de Gestão Participativa parte do princípio de que os participantes devem refletir, construir e definir conjuntamente qual é o objetivo ou problema a ser solucionado, bem como os critérios que contribuem para sua resolução de forma descentralizada, promovendo a integração de ideias e saberes diversos. Tal premissa foi plenamente atendida neste estudo, considerando a atuação ativa dos participantes, os quais demonstraram elevado interesse na resolução do problema proposto. Destaca-se a presença de lideranças comunitárias, usuários da água e representantes de órgãos públicos, o que conferiu ao resultado final uma representatividade ampla e multifacetada dos diferentes interesses envolvidos.

Considera-se que os critérios definidos e consolidados pelos participantes da conferência, com

base nos distintos interesses e opiniões previamente apresentados nos mapas cognitivos e, posteriormente, comparados e ponderados com o auxílio do método MACBETH, resultaram em indicadores mais significativos. Estes indicadores expressam a solução mais comprometida com a realidade local, refletindo o senso comum dos atores sociais envolvidos e interessados na promoção da sustentabilidade da Bacia Hidrográfica do Rio Pirapó.

A metodologia adotada mostra-se passível de replicação em outros municípios que almejam garantir a segurança hídrica de suas nascentes, constituindo um esforço coletivo de mobilização social. Tal abordagem apresenta resultados promissores e pode contribuir significativamente para o aprimoramento das políticas públicas municipais. No caso específico de Apucarana, os resultados obtidos poderão ser incorporados ao Plano Diretor atualmente em processo de reformulação.

Sugere-se, ainda, o desenvolvimento de novos estudos na área avaliada, tanto para o monitoramento da implementação dos indicadores estabelecidos quanto para a ampliação do debate com a inclusão de novos atores e partes interessadas. Esse processo de atualização é fundamental, considerando a dinamicidade das condições locais e os interesses futuros que possam surgir.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] Ajayakumar A, Applications of GIS and RS in Hydrogeology: Insights from River Basin Studies of South India. *Modern River Science for Watershed Management*, 2024; 128: 171-194.
- [2] Seller EP, La Medicion como servicio publico de la administracion local em las sociedades relacionales contemporâneas. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 2014; 10: 3-27.
- [3] Boulomytis V, Zuffo AC, Imteaz MA, Hydrological impacts of urban developments: Modelling and decision-making concepts. *Theoretical and Empirical Research in Urban Management*, 2017; 12: 5-19.
- [4] Eduful M, Toward good governance in water resources management in Ghana. *Natural Resources Forum*, 2023; 48: 485-507.
- [5] Varma VKC, Rathinam R, Suresh V, Naveen S, Satishkumar P, Abdulrahman IS, Salman HM, Kumar PSJA, Urban waste water management paradigm evolution: Decentralization, resource recovery, and water reclamation and reuse. *Environmental Quality Management*, 2023; 33: 523-540.
- [6] Harfuch CAC, Oliveira FR, Meira BR, Cagni GS, Souza RF, Lizama MAP, Velho LFM, Qualidade da água no trecho superior da bacia do Rio Pirapó: um rio urbano no sul do Brasil. *Revista Gestão & Sustentabilidade*, 2019; 8: 513-538.
- [7] Liu J, Pei X, Zhu W, Jiao J, Water-related ecosystem services interactions and their natural-human activity drivers: Implications for ecological protection and restoration. *Journal of Environmental Management*, 2024; 352: 120101.
- [8] Mendes JP, Ferreira DHL, Sugahara CR, Sustainability Indicators for Water Security Management in Watersheds. *Proceedings of the 7th Brazilian Technology Symposium (BTSym'21)*, 2022; 207: 188-197.
- [9] Ouyang B, Yan Z, Jiang Y, Deng C, Chen Y, Wu L, Multi-Scale Effects of Supply-Demand Changes in Water-Related Ecosystem Services Across Different Landscapes in River Basin. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2024; 13: 394.
- [10] Schneider RM, Freire R, Cossich ES, Soares PF, Freitas FH, Tavares CRG, Estudo da influência do uso e ocupação de solo na qualidade da água de dois córregos da Bacia hidrográfica do rio Pirapó. *Acta Scientiarum Technology*, 2011; 33.
- [11] Yuan D, Du M, Yan C, Wang J, Wang C, Zhu Y, Wang H, Kou Y, Coupling coordination degree analysis and spatiotemporal heterogeneity between water ecosystem service value and water system in Yellow River Basin cities. *Ecological Informatics*, 2024; 79: 102440.
- [12] Cetinkaya CP, Gunacti MC, Multi-Criteria Analysis of Water Allocation Scenarios in a Water Scarce Basin. *Water Resources Management*, 2018; 32: 2867-2884.
- [13] Guru N, Kumar P, Devi S, Kumari R, Assessing Soil Erosion-Susceptible Region of Forested Watershed Using Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA). *Integrated Land and Water Resource Management for Sustainable Agriculture Volume 1*, 2025; 4: 153-167.
- [14] Kizielewicz B, Wieckowski J, Salabun W, SESP-SPOTIS: Advancing Stochastic Approach for Re-identifying MCDA Models. *Computational Science – ICCS*, 2024; 14833: 281-295.
- [15] Opricovic S, Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning. *Expert Systems with Applications*, 2011; 38: 12983-12990.
- [16] Diaz-Balteiro L, Belavenutti P, Ezquerro M, González-Pachón J, Nobre SR, Romero C, Measuring the sustainability of a natural system by using multi-criteria distance function methods: Some critical issues. *Journal of Environmental Management*, 2018; 214: 197-203.
- [17] Nouri J, Maghsoudlou B, Aboushabab Z, Utilization multi attribute decision making models for spatial prioritization and environmental decision making in new towns. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2013; 10: 443-454.
- [18] Carr G, Barendrecht MH, Balana BB, Debevec L, Exploring water quality management with a social-hydrological model: a case study from Burkina Faso. *Hydrological Sciences Journal*, 2022; 67: 831-846.
- [19] Ivey JL, Loë RC, Kreutzwisser RD, Planning for source water protection in Ontario. *Applied Geography*, 2006; 26: 192-209.
- [20] Sequeira DFQ, Bortoluzzi SC, Tortato U, Sugar-energy sustainability practices: strategic assessment and managerial implications. *Management Decision*, 2025.
- [21] Asl-Rousta B, Mousavi SJ, A TOPSIS – Based Multicriteria Approach to the Calibration of a Basin-Scale SWAT Hydrological Model. *Water Resources Management*, 2019; 33: 439-452.
- [22] Ezbakhe F, Perez-Foguet A, Multi-Criteria Decision Analysis Under Uncertainty: Two Approaches to Incorporating Data Uncertainty into Water, Sanitation and Hygiene Planning. *Water Resources Management*, 2018; 32: 5169-5182.
- [23] Jeong A, Kim S, Kim M, Jung K, Development of Optimization Model for River Dredging Management Using MCDA. *Procedia Engineering*, 2016; 154: 369-373.
- [24] Kavurmaci M, Evaluation of groundwater quality using a GIS-MCDA-based model: a case study in Aksaray, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 2016; 75.

- [25] Yu DJ, Haeffner M, Jeong H, Pande S, Dame J, Di Baldassarre G, Garcia-Santos G, Hermans L, Muneeppeerakul R, Nardi F, Sanderson MR, Tian F, Wei Y, Wessels J, Sivapalan M, On capturing human agency and methodological interdisciplinarity in socio-hydrology research. *Hydrological Sciences Journal*, 2022; 67: 1905-1916.
- [26] Carayannis EG, Ferreira FAF, Bento P, Ferreira JJM, Jalali MS, Fernandes BMQ, Developing a socio-technical evaluation index for tourist destination competitiveness using cognitive mapping and MCDA. *Technological Forecasting and Social Change*, 2018; 131: 147-158.
- [27] Faria PAM, Ferreira FAF, Jalali MS, Bento P, António NJS, Combining cognitive mapping and MCDA for improving quality of life in urban areas. *Cities*, 2018; 78: 116-127.
- [28] Demesouka O, Vavatsikos A, Anagnostopoulos, Using MACBETH Multicriteria Technique for GIS-Based Landfill Suitability Analysis. *Journal of Environmental Engineering*, 2016; 142: 04016042.
- [29] Ferreira FAF, Spahr RW, Sunderman MA, Using multiple criteria decision analysis (MCDA) to assist in estimating residential housing values. *International Journal of Strategic Property Management*, 2016; 20: 354-570.
- [30] Khoso AR, Yusof A, Chen Z-S, Wang X, Skibniewski MJ, Memon NA, Embedded Remote Group Environment through Modification in MACBETH- An application of Contractor's Selection in Construction. *Journal of Civil Engineering and Management*, 27 (2021) 596-616.
- [31] IBGE. Cidades e Estados. [acesso 22 mai. 2025] Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/apucarana.html>
- [32] Rigon O, Passos MM, Estudo Fisiográfico da Bacia Hidrográfica do Rio Pirapó-PR. *Geografia (Londrina)*, 2015; 23: 35-56.
- [33] Silva GHS, Lima V, Análise e mapeamento da vegetação da bacia hidrográfica do rio Pirapó. *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*, 2017; 1: 6856-6867.
- [34] Prefeitura Municipal de Apucarana. Plano Municipal de Saneamento Básico, 2017.
- [35] Carnero MC, Gómez A, Optimization of Maintenance in Production and Storage Systems for Domestic Water. *Water Resources Management*, 2018; 32: 359-380.
- [36] Bana e Costa CA, De Corte J-M, Vansnick J-C, MACBETH. (Overview of MACBETH multicriteria decision analysis approach). *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 2003; 11: 359-387.
- [37] Fantinatti PAP, Zuffo AC, Argolo Ferrão AM, Indicadores de sustentabilidade em engenharia: como desenvolver. Elsevier, Rio de Janeiro, 2015.
- [38] Keeney RL, Value-focused thinking: Identifying decision opportunities and creating alternatives. *European Journal of Operational Research*, 1996; 92: 537-549.
- [39] Karande P, Chakraborty S, Using MACBETH method for supplier selection in manufacturing environment. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 2013; 4: 259-272.