APLICATIVO DIDÁTICO PARA O ENSINO COM BASE NA METODOLOGIA DE MANEJO INTEGRADO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

Danilo Duarte Costa e Silva [1]

RESUMO – O manejo integrado de bacias hidrográficas constitui importante instrumento para o planejamento ambiental, permitindo analisar de forma sistêmica as interações entre relevo, hidrologia, uso da terra e atividades antrópicas. Nesse contexto, o presente trabalho apresenta a proposta de desenvolvimento de um aplicativo didático baseado na metodologia de Rocha (1997), Rocha e Kurtz (2007) e adaptada por Costa e Silva (2026), aplicada à gestão integrada de bacias hidrográficas. O aplicativo foi desenvolvido em ambiente HTML interativo, com finalidade exclusivamente educacional, visando facilitar o ensino dos procedimentos metodológicos utilizados na análise ambiental integrada. A plataforma contempla módulos relacionados ao coeficiente de rugosidade, diagnóstico físico-conservacionista, diagnóstico ambiental e diagnóstico socioeconômico, permitindo ao usuário visualizar cálculos, fórmulas e interpretações automáticas dos indicadores ambientais. O sistema também incorpora conceitos de geoprocessamento, análise matricial e sensoriamento remoto aplicados ao manejo de bacias hidrográficas. A proposta busca aproximar teoria e prática no ensino de gestão ambiental, contribuindo para a compreensão didática de metodologias quantitativas aplicadas ao planejamento e monitoramento ambiental.

ABSTRACT– *Integrated watershed management is an important tool for environmental planning, allowing a systemic analysis of the interactions between relief, hydrology, land use, and anthropogenic activities. In this context, the present work presents a proposal for the development of a didactic application based on the methodology of Rocha (1997), Rocha and Kurtz (2007), and adapted by Costa e Silva (2026), applied to integrated watershed management. The application was developed in an interactive HTML environment, with exclusively educational purposes, aiming to facilitate the teaching of the methodological procedures used in integrated environmental analysis. The platform includes modules related to the roughness coefficient, physical-conservationist diagnosis, environmental diagnosis, and socioeconomic diagnosis, allowing the user to visualize calculations, formulas, and automatic interpretations of environmental indicators. The system also incorporates concepts of geoprocessing, matrix analysis, and remote sensing applied to watershed management. The proposal seeks to bridge theory and practice in the teaching of environmental management, contributing to the didactic understanding of quantitative methodologies applied to environmental planning and monitoring.*

Palavras-chave: manejo integrado de bacias hidrográficas; aplicativo didático; ensino em engenharia.

[1]) Professor Adjunto da Universidade Federal de Goiás UFG - Avenida Universitária, Quadra 86, Lote Área 1488 - Setor Leste Universitário, Goiânia - GO, 74605-220 Telefone: (62) 3209-6086 daniloduarte@ufg.br

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, as discussões em torno do desenvolvimento sustentável têm contribuído fortemente para a consolidação do conceito de sustentabilidade hídrica. Este paradigma remete à premissa fundamental de planejar o uso da água e o manejo dos ecossistemas de modo a não comprometer o provimento, a segurança e a qualidade de vida das gerações futuras. Nesse contexto, um dos maiores desafios da gestão de recursos hídricos reside na quantificação da problemática ambiental, haja vista a predominância da subjetividade e da complexidade intrínsecas às dinâmicas do meio ambiente.

Esse desafio de quantificação e planejamento ganha contornos críticos frente a uma profunda ruptura epistemológica vivenciada pela ciência hidrológica contemporânea: a **quebra da estacionariedade**. Durante décadas, o planejamento de bacias hidrográficas baseou-se na premissa da estacionariedade, a qual assumia que as estatísticas das séries hidrológicas (vazões e precipitações) observadas no passado seriam um guia confiável e representativo para prever o futuro. Contudo, o forçamento climático antrópico e a intensa alteração do uso e ocupação do solo invalidaram essa teoria. Como sentenciado por Milly *et al.* (2008), "a estacionariedade morreu", evidenciando que sistemas hídricos estão em constante mudança e que o olhar exclusivo para o retrovisor estatístico não é mais suficiente para garantir a segurança hídrica de uma bacia.

Diante das profundas incertezas climáticas e da falência das séries históricas como preditores absolutos, a governança das águas passa a exigir uma **gestão adaptativa**, ancorada na compreensão das bacias como sistemas dinâmicos acoplados entre o ser humano e a natureza. Essa integração metodológica alinha-se aos preceitos da moderna **socio-hidrologia** (SIVAPALAN; SAVENIJE; BLÖSCHL, 2012), que trata a sociedade e a água como um sistema único e coevolutivo.

Como resposta a essa limitação previsiva, o Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas (MIBH) propõe uma abordagem quantitativa interdisciplinar. Entre os principais esforços voltados para equacionar essa problemática, destaca-se a metodologia desenvolvida por Rocha (1997) e aprimorada por Rocha e Kurtz (2007), que busca quantificar a degradação de bacias por meio da integração de metodologias oriundas da Hidrologia (índices morfométricos), Engenharia Agrícola (capacidade de uso da terra), Ciências Ambientais (matriz de impacto), Sociologia e Geografia Física (geoprocessamento). Essa abordagem permite contornar a quebra da estacionariedade, pois o diagnóstico da bacia passa a ser feito com base nas pressões antrópicas socioeconômicas e nas condições físicas espaciais do tempo presente, superando índices puramente teóricos.

Apesar da comprovada eficácia e robustez do método em bacias hidrográficas — como evidenciado por Costa e Silva (2010) em aplicações no semiárido brasileiro —, o ensino dessa metodologia nos cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia e Ciências Ambientais esbarra em barreiras didáticas. A multiplicidade de cálculos, o cruzamento de extensas matrizes de impacto ambiental e a complexidade na ponderação de indicadores físico-conservacionistas e socioeconômicos frequentemente tornam o aprendizado abstrato e mecanizado.

Nesse contexto, o presente trabalho apresenta a proposta de desenvolvimento e aplicação de um **aplicativo didático interativo**, desenvolvido em linguagem HTML, baseado na metodologia de Rocha (1997), Rocha e Kurtz (2007) e em sua mais recente adaptação por Costa e Silva (2026). O objetivo central desta plataforma é facilitar a transposição didática, permitindo que os discentes visualizem em tempo real as fórmulas, os cálculos e as interpretações automáticas dos indicadores ambientais de uma bacia, aproximando a teoria da prática no ensino da gestão de recursos hídricos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A Bacia Hidrográfica como Unidade de Gestão Adaptativa

A adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento apresenta inúmeras vantagens, uma vez que possibilita analisar os impactos ambientais de forma sistêmica, considerando as interações entre relevo, solo, vegetação, clima, hidrologia e atividades humanas. DeBarry (2004) argumenta que os problemas ambientais que afetam os recursos hídricos não obedecem a limites político-administrativos, mas sim aos limites naturais impostos pela dinâmica da drenagem.

Historicamente, a gestão de bacias evoluiu de um modelo focado exclusivamente em obras hidráulicas para uma visão sistêmica e integral (TUCCI, 2001). Atualmente, com a intensificação das forçantes climáticas, a bacia passa a ser compreendida não apenas como uma unidade física, mas como um laboratório de **socio-hidrologia**, onde as ações mitigadoras de manejo (corretivas e educativas) devem responder à variabilidade temporal da degradação socioeconômica e ambiental local.

2.2 O Método de Análise Ambiental Integrada

A metodologia de Rocha e Kurtz (2007) constitui um modelo matemático e cartográfico que fraciona a bacia hidrográfica em minibacias ou compartimentos, aplicando sobre eles três eixos de diagnóstico:

1. **Diagnóstico Físico-Conservacionista (DF):** Avalia a degradação do meio físico baseando-se no conflito entre o uso atual da terra e a sua capacidade de uso natural. Utiliza o coeficiente de rugosidade e índices morfométricos para determinar se as terras estão sendo submetidas a esforços erosivos além de sua capacidade de suporte.
2. **Diagnóstico Ambiental (DA):** Utiliza matrizes de impacto bidimensionais (adaptações da Matriz de Leopold, Canter, 1998) para cruzar as ações antrópicas (ex: desmatamento, queimadas, urbanização) com os fatores ambientais (água, solo, ar, fauna), atribuindo pesos (magnitudes) à poluição direta do meio ambiente.
3. **Diagnóstico Socioeconômico (DSE):** Quantifica o nível de degradação da qualidade de vida, nível tecnológico e de subsistência da população residente na bacia através da aplicação de questionários estruturados, convertendo dados qualitativos em métricas pela equação da reta.

O resultado culmina na equação de Média Aritmética Simples: $Degradação Final = (DF + DA + DSE) / 3$. Valores acima de 10% de degradação sinalizam a necessidade imediata de intervenções mitigadoras e de readequação do planejamento territorial.

2.3 O Papel do Geoprocessamento

No arcabouço do método, o geoprocessamento é a ferramenta essencial que espacializa a complexidade. Através da Modelagem Numérica do Terreno (MNT) e do uso de imagens de satélite (classificação supervisionada MAXVER), extraem-se as variáveis topográficas (declividade) e gera-se o mapa de uso e ocupação da terra. Esse ferramental permite a sobreposição topológica de Áreas de Preservação Permanente (APPs) e subsidia o modelo matricial com dados quantitativos reais do território.

3. METODOLOGIA

O presente estudo possui caráter aplicado e tecnológico. O desenvolvimento do aplicativo didático seguiu as etapas de concepção lógica, estruturação dos algoritmos matemáticos e codificação da interface gráfica.

3.1 Arquitetura e Ambiente de Desenvolvimento

A plataforma foi desenvolvida utilizando as linguagens *Front-end* **HTML5** (HyperText Markup Language) para a estruturação semântica, **CSS3** (Cascading Style Sheets) para a estilização e ergonomia da interface, e **JavaScript** (JS) para a programação lógica, execução dos cálculos

iterativos e manipulação do Document Object Model (DOM) em tempo real. A escolha por um ambiente web *client-side* (sem necessidade de instalação ou banco de dados robusto no servidor) justifica-se pela finalidade educacional: garantir acessibilidade irrestrita aos estudantes de engenharia e gestão ambiental a partir de qualquer navegador de internet.

3.2 Estruturação dos Módulos do Aplicativo

O aplicativo foi arquitetado para espelhar fidedignamente o fluxograma de cálculo da metodologia adaptada por Costa e Silva (2026). A interface foi dividida em cinco módulos operacionais e interativos:

1. **Módulo 1 - Coeficiente de Rugosidade e Parâmetros Morfométricos:** O usuário (estudante) insere os dados básicos extraídos do SIG (Área da bacia, Perímetro, Comprimento do Rio Principal, Desnível Máximo). O algoritmo processa as equações de Fator de Forma, Densidade de Drenagem e o Coeficiente de Rugosidade, indicando automaticamente a capacidade natural de uso da terra (ex: se é apta para lavouras, pastagens ou apenas preservação florestal).
2. **Módulo 2 - Diagnóstico Físico-Conservacionista:** O usuário insere as áreas (em hectares) das diferentes classes de uso da terra (Agricultura, Pastagem, Solo Exposto, Floresta) obtidas por sensoriamento remoto. O sistema cruza esses dados com a capacidade de uso calculada no Módulo 1, calculando a área em "conflito de uso" e gerando o percentual de degradação física (DF).
3. **Módulo 3 - Matriz de Diagnóstico Ambiental:** O aplicativo apresenta uma matriz interativa digital. O usuário seleciona os impactos (ações antrópicas) identificados em campo (ex: uso de defensivos agrícolas, lançamento de efluentes). O sistema aplica a equação da reta parametrizada no método original para ponderar a magnitude e calcular a degradação ambiental (DA).
4. **Módulo 4 - Diagnóstico Socioeconômico:** Simula a tabulação de questionários. O discente insere dados de renda, escolaridade e nível tecnológico dos produtores rurais da bacia. O script calcula o índice de degradação social (DSE).
5. **Módulo 5 - Síntese e Gestão (Dashboard Final):** O módulo integrador recebe as variáveis armazenadas (DF, DA, DSE) e processa a fórmula clássica da degradação sistêmica da bacia ($Degradação = (DF + DA + DSE) / 3$). O sistema gera um relatório em tela

(dashboard), indicando se a bacia encontra-se no limite aceitável (< 10%) ou se exige medidas de manejo integrado urgentes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A concepção e a implementação do aplicativo revelaram resultados substanciais no que tange à modernização do ensino de hidrologia e ciências ambientais.

4.1 A Transposição Didática e o Fim da "Caixa Preta"

Frequentemente, no ensino de recursos hídricos, o aluno é treinado a utilizar *softwares* comerciais complexos de geoprocessamento (como ArcGIS ou QGIS) e modelos hidrológicos pesados. Embora fundamentais, essas ferramentas muitas vezes operam como "caixas pretas", onde o estudante insere dados (MDE, uso do solo) e recebe o mapa final sem compreender o rigor matemático intermediário da matriz de impacto.

O aplicativo HTML desenvolvido quebra esse paradigma. Como sua finalidade é **exclusivamente educacional**, cada módulo da plataforma foi desenhado com janelas de expansão ("tooltips") que exibem as fórmulas. Quando o aluno insere o valor do perímetro da bacia, o aplicativo não apenas entrega o *Fator de Forma*, mas exibe a memória de cálculo. Essa transparência didática permite que o futuro gestor compreenda exatamente como a subjetividade da observação em campo é transformada na objetividade de um número de degradação.

4.2 Superação da Complexidade Matricial

A aplicação da matriz ambiental e do diagnóstico físico-conservacionista em bacias extensas (divididas em dezenas de minibacias) consome exaustivas horas de cálculo em planilhas convencionais, o que desestimula o aprofundamento interpretativo por parte dos discentes. Com o aplicativo, a velocidade do JavaScript permite que o aluno simule múltiplos cenários instantaneamente. O estudante pode, por exemplo, alterar o percentual de "solo exposto" para "área reflorestada" no Módulo 2 e observar, em tempo real, a queda do índice de Degradação Final da bacia no Módulo 5. Essa interatividade gamifica o aprendizado e ensina o conceito de "planejamento por cenários", vital para a gestão pública.

4.3 O Aplicativo como Resposta à Quebra da Estacionariedade e à Socio-hidrologia

Do ponto de vista científico e conceitual, a ferramenta digitaliza um método que é, em sua essência, a resposta pragmática da academia à incerteza climática. Conforme discutido na literatura, a "morte da estacionariedade" (MILLY *et al.*, 2008) exige que as bacias deixem de ser geridas apenas com base em dados de chuva e vazão do passado.

O aplicativo força o aluno a olhar para o **presente socioambiental** da bacia. Ao alimentar os módulos com dados atuais de satélite (uso da terra) e dados do diagnóstico socioeconômico (DSE), o aluno pratica a verdadeira **socio-hidrologia**. Ele aprende que uma bacia com alta degradação socioeconômica e conflito severo de uso do solo terá seu tempo de concentração alterado, sofrerá picos de cheia mais agudos e colapsará hidro-geologicamente durante a próxima seca climática. Portanto, a ferramenta educa o engenheiro para a "gestão adaptativa": ao invés de calcular uma vazão de projeto utópica, ele aprende a intervir no uso da terra (reflorestamento, adequação agrícola) para aumentar a resiliência do sistema hídrico frente ao clima futuro.

5. CONCLUSÕES

O desenvolvimento do aplicativo educacional baseado na metodologia interdisciplinar de Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas (Rocha, 1997; Costa e Silva, 2026) apresenta-se como uma inovação tecnológica de grande relevância pedagógica.

Caminhando para as considerações finais, é imperativo reconhecer que a metodologia exposta — embora inevitavelmente sujeita aos limites de qualquer modelo analítico frente à vasta complexidade da dinâmica natural — oferece uma via pragmática para a gestão hídrica. Ao digitalizar e simplificar a entrada de dados físicos, ambientais e sociais, o aplicativo liberta o estudante do extenuante esforço braçal dos cálculos matriciais, permitindo que o foco cognitivo retorne à sua função principal: a análise crítica dos resultados, o planejamento do território e a tomada de decisão.

Mais do que um mero instrumento de cálculo, esta ferramenta de software livre consolida-se no ensino como uma resposta indispensável ao atual paradigma da quebra da estacionariedade hidrológica. Ao educar os futuros profissionais através de um modelo que diagnostica a bacia sistematicamente pela socio-hidrologia — fundindo impactos sociais da atualidade com a resposta física da bacia —, a metodologia liberta o planejamento da dependência exclusiva do retrovisor estatístico.

Portanto, a aproximação entre teoria (fórmulas e matrizes) e prática (simulações instantâneas em HTML) propiciada pela plataforma contribui decisivamente para a formação de quadros técnicos

capazes de buscar não apenas a mitigação pontual de impactos, mas a garantia da segurança hídrica e a resiliência das bacias hidrográficas sob a ótica do desenvolvimento sustentável. O desafio contínuo reside na ampliação de suas funcionalidades computacionais (como a integração direta com APIs de Sistemas de Informação Geográfica em nuvem) e em sua adoção em larga escala pelas instituições de ensino superior.

REFERÊNCIAS

CANTER, L. W. *Manual de evaluación de impacto ambiental: Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto*. Madrid: McGraw-Hill, 1998.

COSTA E SILVA, D. D. *Aplicação e análise de metodologia de degradação ambiental em Microbacia do Seridó Potiguar*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

DA SILVA, D. D. C. *Ambiente & Hidrologia: Um Modelo aplicado na Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas*. 2. ed. revisada e ampliada. [S.l.: s.n.], 2026.

DEBARRY, P. A. *Whatershed: Processes, Assessment and Management*. New Jersey: Jonh Wiley & Sons, 2004.

FAZENDA, I. C. A. (Org.). *Interdisciplinaridade: história, teoria e pesquisa*. Campinas: Papirus, 1994.

MILLY, P. C. D.; BETANCOURT, J.; FALKENMARK, M.; HIRSCH, R. M.; KUNDZEWICZ, Z. W.; LETTENMAIER, D. P.; STOUFFER, R. J. Stationarity Is Dead: Whither Water Management? *Science*, v. 319, n. 5863, p. 573-574, 2008.

ROCHA, J. S. M. da. *Manual de projetos ambientais*. Santa Maria: Imprensa Universitária, 1997.

ROCHA, J. S. M. da; KURTZ, S. M. J. M. *Manual de Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas*. Santa Maria: Edições UFSM CCR/UFSM, 2007.

SIVAPALAN, M.; SAVENIJE, H. H. G.; BLÖSCHL, G. Socio-hydrology: A new science of people and water. *Hydrological Processes*, v. 26, n. 8, p. 1270-1276, 2012.

TUCCI, C. E. M. *Gestão da água no Brasil*. Brasília: UNESCO, 2001.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. *Hidrologia Aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.