

## ESTUDO PARA PRIORIZAÇÃO DE INTERVENÇÕES NA TORRENTE BOLONIA, BOGOTÁ – COLÔMBIA

*Edwin Andrés Mancilla Rico<sup>1\*</sup>; Priscilla Macedo Moura<sup>2</sup>; Márcio Benedito Baptista<sup>3</sup>*

**Resumo** – Os cursos de água, integrantes dos ecossistemas urbanos, são altamente impactados em função da urbanização. Os gestores urbanos têm procurado e vêm pesquisando formas de recuperar ou restaurar este tipo de ecossistema, contribuindo para a minimização dos impactos negativos da urbanização. Assim, nas últimas décadas, observam-se iniciativas de restauração de cursos de água tanto urbanos como rurais, em vários países. Entretanto a definição de quais cursos de água devem ser restaurados é complexa. Buscou-se atender a esta necessidade oferecendo uma metodologia de auxílio à decisão baseada em análise multicritério para priorização de intervenções em cursos de água fundamentada em uma avaliação que considera os impactos sofridos pelo curso de água e a pressão por ocupação antrópica que este sofre. O presente trabalho ilustra a aplicação da metodologia a um estudo de caso em trechos de torrentes na cidade de Bogotá.

**Palavras-Chave** – Restauração de cursos d'água, Priorização de intervenções, Análise multicritério.

## STUDY FOR INTERVENTIONS PRIORITIZATION IN BOLONIA STREAM, BOGOTA – COLOMBIA

**Abstract** – The water courses as a component of the urban ecosystems, are highly impacted due to urbanization. The urban managers come trying and investigating manners of restoring this type of ecosystems, contributing to the minimization of the urbanization negative impacts. Thus, in the last decades, restoration initiatives are observed of urban and rural water courses, in several countries. Meanwhile the definition of which water courses must be restored is complex. Intending to address this need a decision aid methodology for prioritize interventions in watercourses was proposed. It's based on multicriteria analysis and its evaluation considers the impacts suffered by the watercourse and the pressure by anthropic occupation that suffers this area. The present work illustrates the application of the methodology to a case study in a stream in Bogotá.

**Keywords** – River restoration, Intervention prioritization, Multicriteria analysis.

### 1. INTRODUÇÃO

Os sistemas urbanos representam uma das mais expressivas materializações das ações antrópicas e necessitam estar em equilíbrio com os seus ecossistemas para proporcionar qualidade de vida aos seus habitantes. A falta de planejamento e fiscalização do uso do solo nas cidades gerou um padrão de ocupação do espaço urbano desordenado, marcado por um processo acelerado de transformações. Este fato pode ser constatado pelos cursos de água, que como parte integrante das áreas urbanas, são altamente impactados em função da urbanização. Os gestores urbanos têm procurado e vêm pesquisando formas de recuperar ou restaurar estes cursos de água, contribuindo para a minimização dos impactos negativos da urbanização. Entre as propostas existentes, estão a

<sup>1</sup> Engenheiro Ambiental, Especialista em Planejamento Ambiental e Gestão dos Recursos Naturais, mestrando em Recursos Hídricos – Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UFMG. Avenida Antônio Carlos, 6627, Pampulha-Belo Horizonte, ing.andresmancilla@hotmail.com.

<sup>2</sup> Professora Adjunta Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da UFMG. Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha - Belo Horizonte – priscilla.moura@ehr.ufmg.br

<sup>3</sup> Professor Titular Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da UFMG. Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha - Belo Horizonte – marcio.baptista@ehr.ufmg.br

\* Autor Correspondente.

restauração de cursos de água tanto urbanos como rurais, que nas últimas décadas vêm sendo realizadas em vários países. Entretanto as definições de quais cursos de água devem ser restaurados e como esta intervenção deve ser feita é complexa.

Neste contexto surgem os procedimentos de restauração de cursos d'água, com a visão de alcançar uma integridade, entendida como a capacidade de autossuficiência das entidades ecológicas (população, comunidade, ecossistema) e processos (dinâmica de nutrientes, transporte de sedimentos, etc.) (ANGERMEIER, 1997 *apud* WOHL *et al.*, 2005). McBride *et al.* (2010), afirmam que a restauração é uma ferramenta cada vez mais importante para a gestão e melhoria dos ambientes altamente degradados ou alterados. Para o desenvolvimento de uma metodologia geral para a restauração de cursos de água é necessário que esta seja suficientemente sofisticada e robusta para considerar a complexidade inerente ao planejamento da restauração, e ainda flexível e adaptável para garantir a aplicabilidade de um conjunto diversificado de problemas.

Nesse contexto de avaliação que engloba múltiplos aspectos, a análise multicritério tem grande potencial de aplicação, já que permite a integração destes.

O trabalho em foco tem como objetivo propor uma sistemática de análise baseada em uma metodologia de avaliação da priorização de intervenções em cursos d'água fundamentada em análise multicritério. Esta metodologia foi avaliada por meio de sua aplicação a um estudo de caso, em trechos de torrentes na cidade de Bogotá, sendo este estudo de caso o foco do presente trabalho.

## 2. METODOLOGIA ADOTADA

A metodologia proposta por Rico (2013); visa auxiliar os decisores quanto à priorização de intervenções em trechos de cursos de água, consistindo em distintas fases. A primeira delas refere-se a escolha de indicadores, a partir da literatura. A partir da escolha destes, foi realizada uma consulta a especialistas a fim de avaliar a pertinência dos mesmos. Validados os indicadores, passasse à agregação destes através do método multicritério TOPSIS, obtendo-se então o *Índice de Estado*. Em seguida foi definido um indicador, relacionado com a pressão antrópica sofrida pela área em estudo, denominado *Índice de Pressão*. A priorização das intervenções pode então ser realizada com o cruzamento do Índice de Estado com o Índice de Pressão.

A escolha e definição dos indicadores envolveu uma revisão de literatura para priorização de intervenções, os aspectos hidrológicos, sedimentológicos, ambientais, risco de inundação, sanitários e sociais foram selecionados como os mais relevantes a serem considerados. Os indicadores são utilizados de forma interdisciplinar abordando a complexa realidade e problemática dos cursos d'água. A partir dessa definição foram propostos os indicadores, pertencentes aos diferentes grupos citados, perfazendo um total de dez. A proposição dos aspectos e de seus respectivos indicadores teve como finalidade abranger o maior número possível de aspectos impactados nos cursos de água. Os indicadores foram estabelecidos com valores variando de 0 a 1, estes indicadores comparam a situação de degradação atual do curso de água com uma situação de referência, antes do curso d'água sofrer impactos, sendo esta muitas vezes a situação natural do curso de água. Os objetivos da restauração, aspectos relacionados e indicadores utilizados são apresentados na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1 – Indicadores de Estado

<b>Objetivo</b>	<b>Aspecto</b>	<b>Indicador</b>
Mitigar riscos por poluição, inundação e movimentos de massa	Sanitário	Vertimento de águas residuais (I <sub>VAR</sub> )
		Proliferação de vetores (I <sub>PV</sub> )
	Risco de inundação	Inundação no local (I <sub>IL</sub> )
	Ambiental	Erosão e assoreamento (I <sub>EA</sub> )
		Estabilidade de margens (I <sub>EM</sub> )
		Recuperação e manutenção de ecossistemas (I <sub>RME</sub> )
Recuperar a estrutura e funcionamento dos ecossistemas presentes nos trechos de torrentes e seus corredores ecológicos	Hidrológico	Modificação na vegetação (I <sub>MV</sub> )
		Alteração das vazões (I <sub>AQ</sub> )
Manter o regime hídrico e sedimentológico mais apropriado para as necessidades locais	Sedimentológico	Modificação da carga sedimentológica (I <sub>MCS</sub> )
Propor estratégias sociais de sustentabilidade nos processos de restauração dos cursos d'água	Social	Risco dos assentamentos humanos (I <sub>RAH</sub> )

Após a definição e escolha dos indicadores, foi realizada uma consulta a profissionais de diferentes prefeituras municipais, secretarias e órgãos públicos ambientais, acadêmicos e pesquisadores de diferentes universidades, assim como a empresas de projeto e consultoria, que trabalham em áreas correlatas ao tema da pesquisa. Esta consulta teve como objetivo avaliar aspectos como pertinência, relevância, redundância e adequação dos indicadores, além das formas de cálculo e avaliação dos mesmos. Os profissionais consultados validaram a escolha dos objetivos, aspectos e indicadores.

Após o cálculo dos indicadores, estes devem ser agregados para dar origem ao denominado *Índice de Estado*. Para esta agregação foi escolhido o método multicritério TOPSIS - *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (Pomerol e Barba-Romero, 2000). Este método compara diversas alternativas através da distância a uma solução ideal, permitindo o cálculo da Taxa de Similaridade, que representa a distância de cada alternativa à solução de compromisso. Para esta agregação é necessária a introdução da importância relativa de um indicador em relação aos demais, através do peso de cada indicador.

Para o estabelecimento desta ponderação, especialistas ligados à área de restauração de cursos de água foram consultados. Estes profissionais devem conhecer o contexto local dos cursos de água a serem avaliados.

Definiu-se também um *Índice de Pressão*, relacionado à pressão por ocupação da área onde se insere o curso de água. O Índice de Pressão é obtido através da avaliação de um indicador de pressão, que é avaliado de forma qualitativa.

Finalmente, o decisor irá ter como ferramenta de auxílio à decisão um gráfico com o cruzamento entre o Índice de Estado e o Índice de Pressão.

A metodologia detalhada é apresentada em Rico (2013), os próximos parágrafos irão ilustrar sua aplicação em um estudo de caso.

### 3. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso trata de um trecho de torrente, que em sua maior parte apresenta problemas de poluição, degradação e invasão das faixas de proteção: Bolonia. Este faz parte da bacia do rio Tunjuelito, um dos mais importantes do sistema hídrico de Bogotá.

Antes de se proceder à análise proposta é importante dividir os cursos de água a serem avaliados em trechos homogêneos. Para tal foi adotado o critério proposto por Rebillard (2001); os trechos homogêneos são aqueles que não apresentam grandes rupturas ou alterações no seu funcionamento ou morfologia.

O trecho de torrente Bolonia foi dividido em quatro subtrechos, os quais foram denominados: #1 – Preservação, #2 – Ocupação agrícola, #3 – Apropriação comunitária e #4 - Ocupação urbana, com foco em suas características reponderantes. Uma visão geral dos Cerros Orientais, com destaque para a torrente Bolonia é mostrada na Figura 1.



Figura 1- Localização do trecho de torrente Bolonia. (Fonte: Bogotá - Los caminos de los Cerros, 2007)

#### Calculo dos indicadores e índices

Para cada um dos subtrechos da torrente do estudo de caso foram calculados os indicadores de estado, com base no diagnóstico realizado em campo. O resultado da aplicação destes indicadores é mostrado na Tabela 2

Tabela 2 – Resultados do cálculo dos indicadores de estado para os diferentes subtrechos

Indicador	#1	#2	#3	#4
Vertimento de águas residuais ( $I_{VAR}$ )	0,00	0,38	0,43	0,50
Proliferação de vetores ( $I_{PV}$ )	0,87	0,98	0,62	0,90
Inundação no local ( $I_{IL}$ )	0,75	0,25	0,75	0,00
Erosão e assoreamento ( $I_{EA}$ )	1,00	0,25	0,75	0,00
Estabilidade de margens ( $I_{EM}$ )	1,00	0,25	0,75	0,25
Recuperação e manutenção de ecossistemas ( $I_{RME}$ )	0,50	0,00	0,50	0,00
Modificação na vegetação ( $I_{MV}$ )	0,75	0,25	0,75	0,25
Alteração das vazões ( $I_{AQ}$ )	0,75	0,25	0,50	0,25
Modificação da carga sedimentológica ( $I_{MCS}$ )	1,00	0,00	0,25	0,00
Risco dos assentamentos humanos ( $I_{RAH}$ )	0,90	0,72	1,00	0,43

Os indicadores têm valores entre 0 e 1 e o sentido de preferência é crescente, ou seja, quanto mais próximo de 1 é o valor do indicador mais próximo está o trecho de sua condição natural.

A ponderação dos indicadores de estado foi realizada especificamente para este estudo de caso, como foi descrito por Rico (2013), sendo que a definição dos pesos foi baseada em uma pesquisa junto a potenciais usuários da metodologia proposta como decisores, servidores públicos, técnicos das diferentes prefeituras e secretarias, empresas de consultorias e projetos e professores de diversas faculdades focados no tema da pesquisa.

As médias dos pesos obtidos para cada indicador são mostrados na Figura 2.

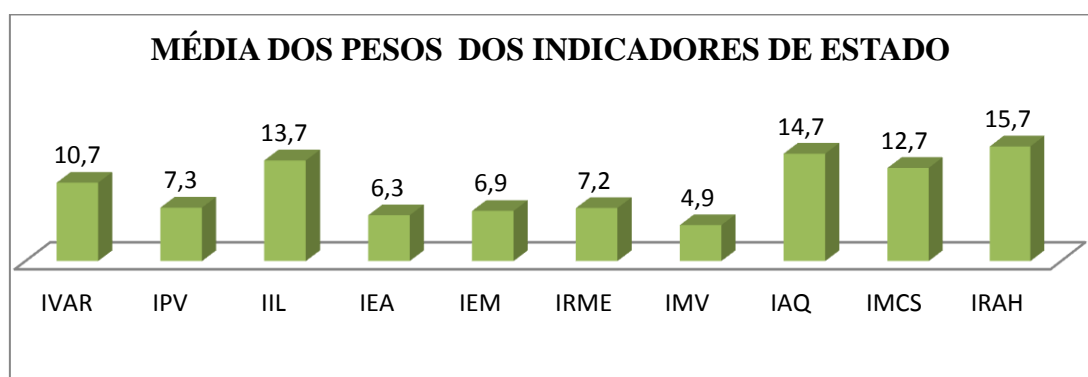


Figura 2 - Média dos Pesos atribuídos pelos especialistas aos indicadores

Após se realizar os diferentes cálculos para os indicadores de estado e considerando seus respectivos pesos, foi calculado o índice de estado, com base no método TOPSIS. Com o objetivo de fazer a agregação dos indicadores utilizando-se a média dos pesos atribuídos por todos os especialistas. A Taxa de Similaridade, que corresponde ao Índice de Estado, calculada para cada um dos subtrechos em estudo é apresentada na Tabela 3.

Após calculado o Índice de Estado, avaliam-se as pressões por ocupação sofridas pelos trechos em análise. Pode-se considerar que a situação de pressão que sofrem na atualidade os trechos de torrentes em geral é alta, devido a uma falta de planejamento da ocupação e uso do solo, o desordenado processo de urbanização, os diferentes conflitos por uso de solo para desenvolvimento de diferentes atividades comerciais, industriais, agropecuárias, de exploração mineral, as quais não são permitidas ou têm algum tipo de restrição por parte do Plano de ordenamento territorial da cidade. Um exemplo da análise do Índice de Pressão para o trecho #4 é mostrado na Figura 3.

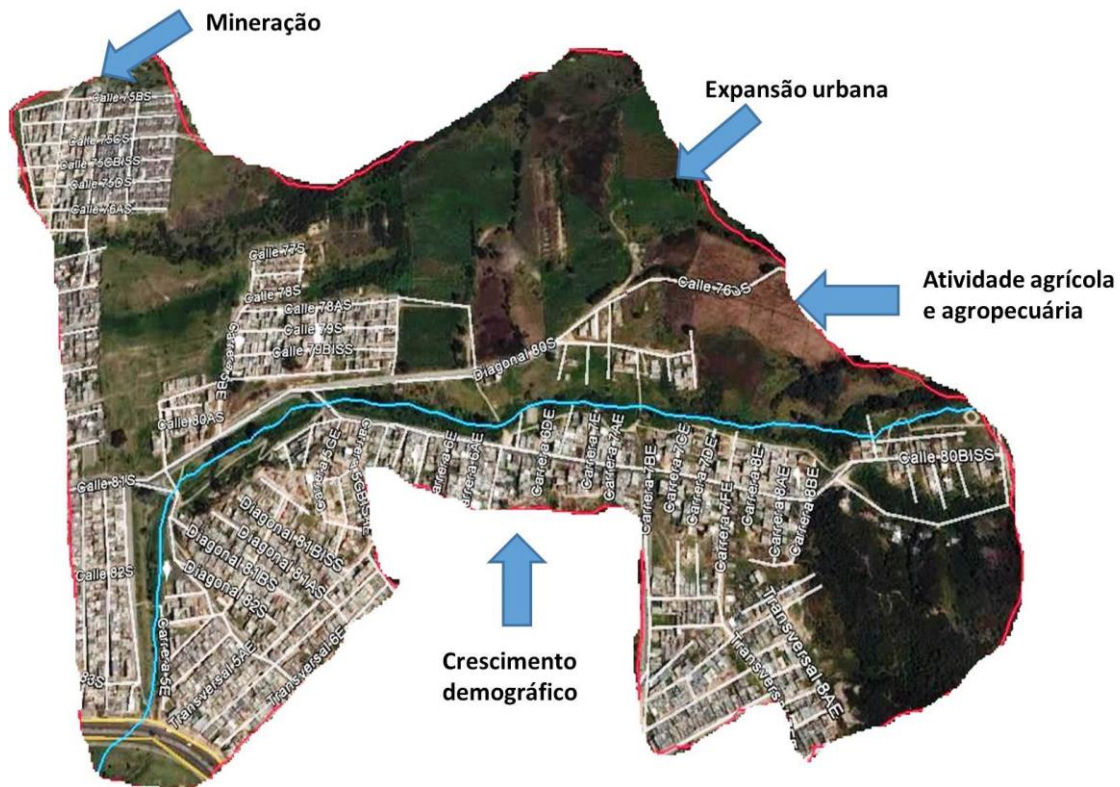


Figura 3 – Avaliação da pressão por ocupação do subtrecho #4 (Fonte: Adaptado de Google Earth 2013)

A Tabela 3 mostra os valores do Índice de Pressão, os valores variam de 0 a 1, com sentido de preferência decrescente, sendo que quanto mais próximo está o valor de 1 maior a pressão que o trecho sofre.

Tabela 3 – Índices de Estado e Pressão para os diferentes subtrechos

Subtrecho	#1	#2	#3	#4
Índice de Estado	0,32	0,61	0,39	0,70
Índice de Pressão	0,85	0,48	0,77	0,62

De acordo com a metodologia proposta o decisor irá ter como suporte para a decisão um gráfico com o cruzamento entre o Índice de Estado e o Índice de Pressão. Este gráfico é apresentado na Figura 4.

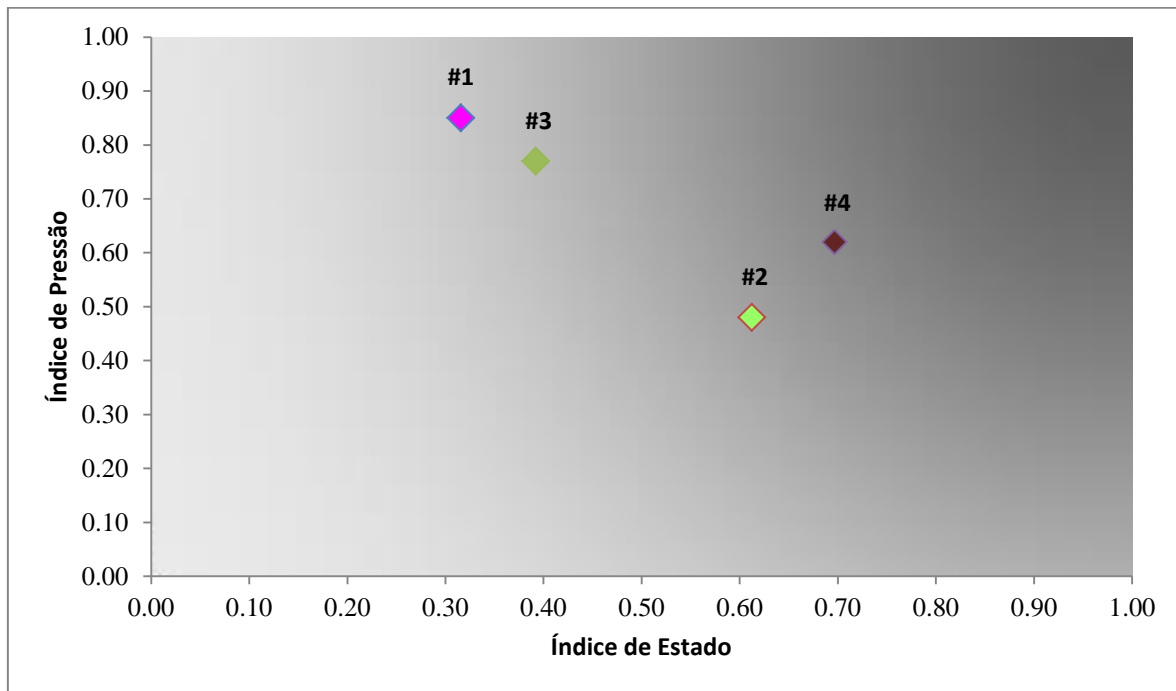


Figura 4 – Análise Índice de Pressão *versus* Índice de Estado

A adequada avaliação tanto para o Índice de Estado, quanto para o Índice de Pressão é no sentido decrescente, ou seja, quanto mais próximo o ponto representando o subtrecho avaliado está da área clara do gráfico mais este se aproxima da situação natural, ou seja devem ser priorizados aqueles subtrechos mais próximos ao canto superior direito. Nesse contexto o subtrecho #4 é o subtrecho mais prioritário, que precisa receber intervenções por parte das autoridades locais para o melhoramento das condições do mesmo. Este vem seguido dos subtrechos #2, #3, e #1, respectivamente.

Tendo em vista as incertezas associadas ao cálculo dos indicadores e a ponderação dos mesmos, foram realizadas análises de sensibilidade, para verificação da influência da incerteza dos parâmetros básicos e possíveis valores que alterariam a hierarquização final. A ponderação dos indicadores foi realizada para cada subtrecho de acordo com cada área de atuação dos especialistas consultados e a partir da análise realizada pode-se concluir que a variação nos pesos dos indicadores não afetou a hierarquização das alternativas. Pode-se então afirmar que a metodologia mostrou pequena sensibilidade à variação nos pesos dos indicadores.

#### 4. CONCLUSÕES

O estudo de caso evidenciou a facilidade de aplicação da metodologia e demonstrou, através da análise de sensibilidade, que esta foi pouco sensível às variações nos pesos dos indicadores de estado.

Pode-se considerar que a metodologia permitiu nortear a priorização de intervenções para os trechos da torrente Bolonia, podendo subsidiar a tomada de decisões.

É importante salientar, que fundamentar e implantar as ações que promovam os processos de restauração de cursos de água representam tarefas de grande importância, devido os seus aspectos multi e transdisciplinares. Portanto torna-se necessário, o aprimoramento de metodologias e referenciais teóricos de aplicações específicas e de instrumentos legais, que possam difundir estas ideias e embasar cada vez mais os princípios e ações dos processos de resgate da qualidade dos cursos de água tanto urbanos como rurais.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos PEC-PG - CAPES/CNPq – Brasil, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

## 6. REFERÊNCIAS

ANGERMEIER, P. L. Conceptual roles of biological integrity and diversity, in Watershed Restoration: Principles and Practices, edited by J. E. WILLIAMS, C. A. WOOD, AND M. P. DOMBECK, Am. Fish.Soc., Bethesda, Md. 1997. p.49– 65.

CARDOSO, S. A. Desenvolvimento de metodologia para avaliação de alternativas de intervenção em cursos de água em áreas urbanas. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) — Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. 183 f.

McBRIDE, M.F.; WILSON, K.A.; BURGER, J.; FANG, Y.C.; LULOW, M.; OLSON, D.; O'CONNELL, M.; POSSINGHAM, H.P. Mathematical problem definition for ecological restoration planning. Ecological Modelling. 221, p. 2243-2250. 2010.

REBILLARD, J.P. Le SEQ-Physique, Revue de l'agence de l'eau, Adour Garonne, n. 81, 2001, p. 13-15.

POMEROL, J. C.; BARBA-ROMERO, S. Multicriterion decision in management: principles and practice. 2000.

RICO, E. A. M. Metodologia para priorização de intervenções em cursos de água: Estudo de caso dos trechos Bolonia e Yomasa, Bogotá, Colômbia. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) — Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

SIMONS, J; BOETERS, R.A Systematic Approach to Ecologically Sound River Bank Management. In: WADE, P.M.; LARGE, A.R.G.; WALL, L.C.de. Rehabilitation of Rivers: Principles and Implementation. Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd., 1998. p. 57-85.

WOHL, E.; ANGERMEIER, P.L.; BLEDSOE, B.; KONDOLF, G.M.; MacDONNEL, L.; MERRITT, D. M.; PALMER, M.A.; POFF, N.L.; TARBOTON, D. River Restoration. Water Resources Research, v. 41, w 10301, p.1-12, 2005.