

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

METODOLOGIA PARA PRIORIZAÇÃO DE
INTERVENÇÕES EM TRECHOS DE CURSOS
DE ÁGUA:
ESTUDO DE CASO TORRENTES BOLONIA E
YOMASA, BOGOTÁ – COLÔMBIA

Edwin Andrés Mancilla Rico

Belo Horizonte

2013

**METODOLOGIA PARA PRIORIZAÇÃO DE
INTERVENÇÕES EM TRECHOS EM TRECHOS DE
CURSOS DE ÁGUA:
ESTUDO DE CASO TORRENTES BOLONIA E YOMASA,
BOGOTÁ – COLÔMBIA**

Edwin Andrés Mancilla Rico

Edwin Andrés Mancilla Rico

**METODOLOGIA PARA PRIORIZAÇÃO DE
INTERVENÇÕES EM TRECHOS DE CURSOS DE ÁGUA:
ESTUDO DE CASO TORRENTES BOLONIA E YOMASA,
BOGOTÁ – COLÔMBIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Hidrologia Urbana e Drenagem

Orientador: Profa. Dra. Priscilla Macedo Moura

Co-Orientador: Prof. Dr. Márcio B. Baptista

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2013

R541m

Rico, Edwin Andrés Mancilla.

Metodologia para priorização de intervenções em trechos de Cursos de água [manuscrito] : estudo de caso Torrentes Bolonia e Yomasa, Bogotá-Colômbia / Edwin Andrés Mancilla Rico. – 2013. xv, 155 f., enc.: il.

Orientadora: Priscilla Macedo Moura.

Co-orientador: Márcio B. Baptista.

Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Anexos: f.137-155.

Inclui bibliografia.

1. Engenharia sanitária – Teses. 2. Recursos hídricos – Desenvolvimento – Teses. 3. Indicadores – teses. I. Moura, Priscilla Macedo. II. Baptista, Márcio Benedito. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 628(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Avenida Antônio Carlos, 6627 - 4º andar - 31270-901 - Belo Horizonte - BRASIL

Telefax: 55 (31) 3409-1882 - posgrad@desa.ufmg.br

http://www.smarh.eng.ufmg.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

Metodologia para Priorização de Intervenções em Trechos de Cursos de Água:
Estudo de Caso Torrentes Bolonia e Yomasa, Bogotá - Colômbia

EDWIN ANDRÉS MANCILLA RICO

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

Profa. Dra. PRISCILLA MACEDO MOURA - Orientador

Prof. Dr. MÁRCIO BENEDITO BAPTISTA - Coorientador

Prof. Dr. VALTER LÚCIO DE PÁDUA

Profa. Dra. HELOÍSA SOARES DE MOURA COSTA

Dra. ADRIANA SALES CARDOSO

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

Versão Final aprovada por

Profa. Juliana Calábria de Araújo
Coordenadora

Profa. Priscilla Macedo Moura
Orientadora

Belo Horizonte, 07 de junho de 2013.

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, Herly e Eduardo,
conselheiros e professores para a vida
e eternos guardiões para a minha alma.*

"O valor das coisas não está no tempo em que elas duram, mas na intensidade com que acontecem. Por isso existem momentos inesquecíveis e pessoas incomparáveis".

Fernando Pessoa

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar a cada dia um dia a mais de vida, e por me fazer acreditar neste trabalho, com saúde, felicidade, crescimento pessoal e experiências pelo maravilhoso caminho que é a vida.

Aos meus pais, pela constante força, carinho e amor durante toda a vida.

À minha irmã Martha (segunda mãe) pelo incentivo, confiança e amor ao longo de toda minha vida.

Às minhas irmãs, Erli e Jannette, aos meus sobrinhos e cunhados, por todo o amor, apoio e confiança em mim depositada durante todos os momentos da minha vida.

À professora Priscilla Macedo Moura, a quem não tenho palavras para agradecer pela orientação e ajuda desde o início do mestrado e na elaboração deste trabalho. Obrigado pela oportunidade, dedicação, disponibilidade, empenho e apoio durante estes dois anos.

Ao professor Márcio Benedito Baptista, co-orientador do mestrado, pela orientação, ajuda, dedicação, conhecimentos transmitidos e pelas oportunas e valiosas contribuições e sugestões para o desenvolvimento e melhoramento desta pesquisa.

Aos professores do mestrado, pelos conhecimentos transmitidos.

Aos colegas do mestrado pelo apoio, incentivo e companheirismo.

Ao departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos e ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos por contribuírem para minha formação acadêmica.

Aos funcionários do Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, em especial a Iara e Jussara, do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos.

A meus amigos Ana Letícia, Erlan, Felipe, Germana, Laís, Maria Clara, Mila, Sarah, Talita, Saulo e Billy, pela convivência, amizade e carinho, em especial a aqueles que me acolheram como uma família e tornaram minha estadia aqui no Brasil mais amena durante esse tempo.

Aos meus grandes amigos colombianos por sempre me apoiarem e torcerem pela concretização de meus sonhos.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e aos entrevistados que dedicaram um pouco do seu tempo para colaborar com esta pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos, Bolsista PEC-PG - CAPES/CNPq – Brasil.

Muito Obrigado!

RESUMO

As cidades 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. Os cursos de água como integrantes dos ecossistemas urbanos, são altamente impactados em função da urbanização, por isso diversos pesquisadores têm procurado e vêm pesquisando formas de recuperar este tipo de ecossistema, contribuindo para a minimização dos impactos negativos da urbanização. Entre as propostas existentes, estão a restauração de cursos de água tanto urbanos como rurais, que nas últimas décadas vêm sendo planejadas e realizadas em diversos países. Entretanto a definição de quais cursos de água devem ser restaurados é complexa.

Neste contexto o presente trabalho busca contribuir para o atendimento desta necessidade, oferecendo uma metodologia de auxílio à decisão baseada em análise multicritério para priorização de intervenções em cursos de água. A Metodologia está baseada em uma avaliação que considera os impactos sofridos pelo curso de água e a pressão por ocupação antrópica que sofre esse trecho. Ela fundamenta-se na avaliação qualitativa com base em indicadores que integram aspectos sanitários, risco de inundação, ambientais, hidrológicos, sedimentológicos, sociais e de Pressão.

A metodologia propõe o estabelecimento dos pesos dos indicadores por meio de consulta a especialistas. A agregação dos indicadores de estado é realizada pelo método multicritério TOPSIS, obtendo-se um *Índice de Estado*, que analisado em conjunto com um *Índice de Pressão Antrópica* permite a hierarquização dos trechos por prioridade de intervenção.

A metodologia foi aplicada a um estudo de caso em trechos de torrentes na cidade de Bogotá. Tendo sido realizada uma análise de sensibilidade dos resultados. A metodologia se mostrou coerente e de fácil aplicação, podendo constituir uma ferramenta útil para auxiliar a decisão aos analistas e decisores na definição da priorização de intervenções em cursos de água.

ABSTRACT

The cities represent one of more the expressive materializations of the anthropic actions and they need to be in balance with his ecosystems to provide quality of life to his inhabitants. The water courses as members of the urban ecosystems, are highly impressed depending on the urbanization. Several researchers come trying and investigating ways of recovering or restoring this type of ecosystems, contributing to the minimization of the negative impacts of the urbanization. Between the existing offers, they are the restoration of both urban and rural water courses, that in the last decades come being planned and realized in several countries. Meanwhile the definition of which water courses must be restored is complex.

In this context the present work seeks to attend to this need, offering a methodology of aid for decision based on analysis multi criterion for prioritization of interventions in courses of water based on an evaluation that considers the impacts suffered by the course of water and the pressure by anthropic occupation that suffers this span. It is based on a qualitative evaluation with base on indicators that integrate sanitary aspects, risk of flood, environmental, hydrological, sedimentological social and pressure.

The methodology proposes the establishment of the weight of the indicators by means of it consults specialists. The aggregation of the indicators of state was realized by the method multi criterion TOPSIS, obtaining a *index of state*., that analyzed as a whole with the *index of anthropic pressure* allows the hierarchical organization of the spans for priority of intervention.

This methodology was evaluated by means of his application to a study of case, in snippets Torrents in the city of Bogota, having performed a sensitivity analysis of the results. The methodology shown coherent and of easy application, being able to be constituted in a useful tool to help the decision to the analysts and decisores in the definition of prioritization of interventions for the water courses, subsidizing this way the decision-making process.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	X
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	XII
1 INTRODUÇÃO	1
2 JUSTIFICATIVAS E CONTEXTO DA PESQUISA	3
3 OBJETIVOS E ETAPAS METODOLÓGICAS	5
3.1 OBJETIVO GERAL	5
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3.3 ETAPAS METODOLÓGICAS.....	5
4 REVISÃO DA LITERATURA	7
4.1 A URBANIZAÇÃO E A DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DOS CURSOS D'ÁGUA	7
4.2 RESTAURAÇÃO EM CURSOS DE ÁGUA.....	11
4.3 EXPERIÊNCIAS EM NÍVEL MUNDIAL.....	18
4.3.1 <i>Rio Brent - Inglaterra</i>	18
4.3.2 <i>Rio Bain - Inglaterra</i>	20
4.3.3 <i>Rio Liesing - Áustria</i>	21
4.4 FAIXAS DE PROTEÇÃO DE CURSOS DE ÁGUA.....	27
4.5 UTILIZAÇÃO DE INDICADORES	34
4.6 INDICADORES RELATIVOS À RESTAURAÇÃO DE CURSOS DE ÁGUA.....	39
4.7 INDICADORES RELATIVOS A PRIORIZAÇÃO	40
4.8 METODOLOGIAS DE ANÁLISE PARA A AVALIAÇÃO DA PRIORIZAÇÃO E TOMADA DE DECISÕES	45
4.9 MÉTODO TOPSIS.....	48
4.10 CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
5 METODOLOGIA PARA PRIORIZAÇÃO DE INTERVENÇÕES EM CURSOS DE ÁGUA.....	52
5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	52
5.2 ESCOLHA E DEFINIÇÃO DOS INDICADORES DE ESTADO	53
5.2.1 <i>Indicadores relativos ao Aspecto Sanitário</i>	55
5.2.2 <i>Indicador relativo ao Risco de Inundação</i>	58
5.2.3 <i>Indicadores relativos ao Aspecto Ambiental</i>	59
5.2.4 <i>Indicador relativo ao Aspecto Hidrológico</i>	62
5.2.5 <i>Indicador relativo ao aspecto sedimentológico</i>	63
5.3 PONDERAÇÃO E AGREGAÇÃO DOS INDICADORES DE ESTADO – ÍNDICE DE ESTADO	64
5.4 INDICADORES DE PRESSÃO	65
5.4.1 <i>Indicador Pressão antrópica</i>	66
5.4.2 <i>Indicador relativo ao aspecto social</i>	67
5.5 PONDERAÇÃO E AGREGAÇÃO DOS INDICADORES DE PRESSÃO – ÍNDICE DE PRESSÃO	68
5.6 AVALIAÇÃO ESTADO <i>VERSUS</i> PRESSÃO.....	68
5.7 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA	68

6	ESTUDO DE CASO	69
6.1	DESCRIÇÃO DO TRECHO DE TORRENTE BOLONIA	73
	- <i>Subtrecho 1B- Preservação</i>	75
	- <i>Subtrecho 2 B- Ocupação agrícola</i>	76
	- <i>Subtrecho 3 B- Apropriação comunitária</i>	77
	- <i>Subtrecho 4 B - Ocupação Urbana</i>	78
6.2	DESCRIÇÃO DO TRECHO DE TORRENTE YOMASA	79
	- <i>Subtrecho 1Y- Preservação</i>	82
	- <i>Subtrecho 2 Y- Ocupação agrícola</i>	82
	- <i>Subtrecho 3Y- Ocupação urbana</i>	83
	- <i>Subtrecho 4Y- Atividade minerária</i>	84
6.3	CÁLCULO DO ÍNDICE DE ESTADO.....	86
6.3.1	<i>Cálculo dos Indicadores de Estado</i>	86
6.3.2	<i>Ponderação dos Indicadores de Estado</i>	86
6.3.3	<i>Agregação dos Indicadores de Estado</i>	94
6.4	ANÁLISE DO ÍNDICE DE PRESSÃO.....	95
6.4.1	<i>Avaliação Indicador de Pressão Antrópica</i>	95
	- <i>Subtrecho 1B – Preservação</i>	95
	- <i>Subtrecho 2 B- Ocupação agrícola</i>	97
	- <i>Subtrecho 3 B- Apropriação comunitária</i>	98
	- <i>Subtrecho 4 B- Ocupação Urbana</i>	100
	- <i>Subtrecho 1Y- Preservação</i>	102
	- <i>Subtrecho 2 Y- Ocupação agrícola</i>	103
	- <i>Subtrecho 3 Y- Ocupação urbana</i>	105
	- <i>Subtrecho 4 Y- Atividade minerária</i>	106
6.4.2	<i>Avaliação Indicador Social</i>	108
6.4.3	<i>Agregação dos indicadores de Pressão</i>	108
6.5	AVALIAÇÃO PRIORIZAÇÃO VERSUS PRESSÃO	109
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	111
8	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	121
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
	APÊNDICE 01	138
	APÊNDICE 02	141
	APÊNDICE 03	144

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 - Impactos da urbanização sobre os meios aquáticos.....	9
Figura 4.2 – Esquema: distinção entre os processos de restauração, reabilitação e remediação	17
Figura 4.3 - Poluição do Rio Brent antes do processo de restauração no ano de 1999	19
Figura 4.4 - Processo de restauração do rio Brent durante a construção, ano de 2003 e depois em 2005	20
Figura 4.5 - Rio Bain antes e depois do processo de restauração	21
Figura 4.6 - Rio Liesing antes e depois do processo de restauração	22
Figura 4.7 - Rio Morava depois da reconexão	25
Figura 4.8 – Rio Chess antes (à esquerda) e depois (à direita) do processo de restauração....	25
Figura 4.9 - Rio Cheonggyecheon em Seul, antes e depois da restauração	26
Figura 4.10 - Distância das Alternativas à Solução Ideal e Anti-Ideal	49
Figura 6.1 - Localização da Localidade de Usme, Bogotá.....	69
Figura 6.2 - Localização geral dos trechos de torrentes objeto da pesquisa.....	70
Figura 6.3 - Divisão dos subtrechos e trechos de torrentes objeto da pesquisa.....	71
Figura 6.4 - Localização geral dos trechos de torrentes Bolonia e Yomasa.....	73
Figura 6.5 - Divisão dos subtrechos do trecho de torrente Bolonia	75
Figura 6.6 - Subtrecho 1, Trecho de torrente Bolonia.....	76
Figura 6.7 - Subtrecho 2, Trecho de torrente Bolonia.....	77
Figura 6.8 - Subtrecho 3, Trecho de torrente Bolonia.....	78
Figura 6.9 - Subtrecho 4, Trecho de torrente Bolonia.....	79
Figura 6.10 - Localização Trecho de Torrente Yomasa.....	80
Figura 6.11 - Parte alta da bacia do Trecho de torrente Yomasa, limites dos Cerros Orientais e Bairros Dona Liliana, Juan Jose Rondon.....	81
Figura 6.12 - Divisão dos subtrechos do trecho de torrente Yomasa.....	81
Figura 6.13 - Subtrecho 1, Trecho de torrente Yomasa	82
Figura 6.14 - Subtrecho 2, Trecho de torrente Yomasa	83
Figura 6.15 - Subtrecho 3, Trecho de torrente Yomasa	84
Figura 6.16 - Subtrecho 4, Trecho de torrente Yomasa	85
Figura 6.17 – Formação Profissional dos diferentes consultados.	87
Figura 6.18 - Pesos arbitrados por cada especialista aos aspectos	90
Figura 6.19 - Média dos Pesos arbitrados por cada especialista aos aspectos	91
Figura 6.20 - Média dos Pesos arbitrados por cada especialista aos indicadores de Estado...	91
Figura 6.21 - Pesos arbitrados por cada especialista aos indicadores de Estado.....	92
Figura 6.22 - Coeficiente de variação dos aspectos	93
Figura 6.23 - Coeficiente de variação dos indicadores de Estado.....	93
Figura 6.24 - Taxa de Similaridade dos Indicadores de Estado para os subtrechos mediante o TOPSIS.....	94
Figura 6.25 - Pressão Subtrecho 1B - Preservação.....	96
Figura 6.26 - Pressão Subtrecho 2B - Ocupação agrícola.....	98
Figura 6.27 - Pressão Subtrecho 3B - Apropriação comunitária.....	99
Figura 6.28 - Pressão Subtrecho 4B - Ocupação urbana.....	101
Figura 6.29 - Pressão Subtrecho 1Y - Preservação	103
Figura 6.30 - Pressão Subtrecho 2Y - Ocupação agrícola.....	104
Figura 6.31 - Pressão Subtrecho 3Y - Ocupação urbana.....	106
Figura 6.32 - Pressão Subtrecho 4Y - Atividade Minerária	107
Figura 6.33 - Taxa de Similaridade dos Indicadores de Pressão para os subtrecho mediante o TOPSIS.....	109

Figura 6.34 - Comparação Índice de Pressão <i>versus</i> Índice de Estado	110
Figura 7.1 - Médias dos Indicadores de Estado por área de atuação.....	112
Figura 7.2 - Médias dos Aspectos por área de atuação	113
Figura 7.3 - Coeficiente de variação de aspectos por área de atuação	113
Figura 7.4 - Coeficiente de variação dos indicadores de Estado por área de atuação	114
Figura 7.5 - Média geral dos pesos indicadores <i>versus</i> média área de atuação – Universidade	114
Figura 7.6 - Taxa de Similaridade para os subtrecho de acordo com área de atuação – Universidade.....	115
Figura 7.7 - Média geral pesos indicadores <i>versus</i> média área de atuação – Autoridades ambientais.....	116
Figura 7.8 - Taxa de Similaridade para os diferentes subtrechos – área de atuação autoridade ambiental	116
Figura 7.9 - Média geral pesos indicadores <i>versus</i> média área de atuação - Consultorias ...	117
Figura 7.10 - Taxa de Similaridade para os subtrecho de acordo com área de atuação – Consultorias.....	118
Figura 7.11 - Média geral pesos indicadores <i>versus</i> média área de atuação - Prefeituras	119
Figura 7.12 - Taxa de Similaridade para os diferentes subtrechos – área de atuação prefeituras municipais.....	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Termos e conceitos referentes a restauração de acordo com diversos autores ...	14
Tabela 4.2 – Outras experiências de restauração de cursos de água	23
Tabela 4.3 – Delimitação e zoneamento dos cursos de água e suas faixas de proteção	29
Tabela 4.4 – Termos e conceitos referentes a indicador de acordo com diversos autores.	35
Tabela 5.1 – Objetivos, Aspectos e Indicadores de Estado selecionados.....	55
Tabela 5.2 – Objetivos, Aspectos e Indicadores de Pressão selecionados	55
Tabela 5.3 – Quadro de avaliação do Indicador Vertimento de águas residuais (I_{VAR}) – parâmetro sensorial cor.....	56
Tabela 5.4 – Quadro de avaliação do Indicador Vertimento de águas residuais (I_{VAR}) – parâmetro sensorial odor	57
Tabela 5.5 – Quadro de avaliação do Indicador Proliferação de vetores (I_{PV}).....	58
Tabela 5.6 – Quadro de avaliação do Indicador Inundação no local (I_{IL})	59
Tabela 5.7 – Quadro de avaliação do Indicador Estabilidade das margens (I_{EM})	60
Tabela 5.8 – Quadro de avaliação do Indicador Manutenção de ecossistemas (I_{ME}).....	61
Tabela 5.9 – Quadro de avaliação do Indicador Modificação na vegetação (I_{MV}).....	62
Tabela 5.10 – Quadro de avaliação do indicador Alteração das vazões (I_{AV}).....	63
Tabela 5.11 – Quadro de avaliação do Indicador Regime Sedimentológico (I_{RS})	64
Tabela 5.12 – Quadro de avaliação do Indicador de Pressão	66
Tabela 6.1 – Resultados do cálculo dos indicadores de estado para os diferentes subtrechos	86
Tabela 6.2 – Peso médio e coeficiente de variação (CV) dos indicadores	89
Tabela 6.3 – Quadro de avaliação para área de influencia da bacia hidrográfica do subtrecho 1B	95
Tabela 6.4 – Quadro de avaliação para área de influência faixa de proteção do subtrecho 1B	96
Tabela 6.5 – Quadro de avaliação para área de influencia da bacia hidrográfica do subtrecho 2B	97
Tabela 6.6 – Quadro de avaliação para área de influência faixa de proteção do subtrecho 2B	97
Tabela 6.7 – Quadro de avaliação para área de influencia da bacia hidrográfica do subtrecho 3B	98
Tabela 6.8 – Quadro de avaliação para área de influência faixa de proteção do subtrecho 3B	99
Tabela 6.9 – Quadro de avaliação para área de influencia da bacia hidrográfica do subtrecho 4B	100
Tabela 6.10 – Quadro de avaliação para área de influência faixa de proteção do subtrecho 4B	100
Tabela 6.11 – Valores dos Indicadores de Pressão antrópica para os trechos de torrente Bolonia	101
Tabela 6.12 – Quadro de avaliação para área de influencia da bacia hidrográfica do subtrecho 1Y	102
Tabela 6.13 – Quadro de avaliação para área de influência faixa de proteção do subtrecho 1Y	102
Tabela 6.14 – Quadro de avaliação para área de influencia da bacia hidrográfica do subtrecho 2Y	103
Tabela 6.15 – Quadro de avaliação para área de influência faixa de proteção do subtrecho 2Y	104

Tabela 6.16 – Quadro de avaliação para área de influencia da bacia hidrográfica do subtrecho 3Y	105
Tabela 6.17 – Quadro de avaliação para área de influência faixa de proteção do subtrecho 3Y	105
Tabela 6.18 – Quadro de avaliação para área de influencia da bacia hidrográfica do subtrecho 4Y	106
Tabela 6.19 – Quadro de avaliação para área de influência faixa de proteção do subtrecho 4Y	107
Tabela 6.20 – Valores dos Indicadores de Pressão antrópica para os trechos de torrente Yomasa	108
Tabela 6.21 – Resultados do Indicador social – Risco de assentamentos humanos (I_{RAH}) para os trechos Bolonia e Yomasa.....	108

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A_a	Área de risco onde há assentamento humanos
a_{ij}	Ponto de coordenada da alternativa considerada para o critério j
AMA	Apoio multicritério à decisão
a^M_j	Ponto de ideal para o critério j (valor máximo dentre os listados)
a^m_i	Ponto de anti-ideal para o critério j (valor mínimo dentre os listados)
A_t	Área total de influência no trecho onde existem assentamentos humanos
BMP	Manual de boas práticas de gestão
CAR	Corporación Autonoma Regional de Cundinamarca
CARE - S	Computer aided rehabilitation of sewer networks
CARE - W	Computer aided rehabilitation of water networks
CIREF	Centro Ibérico de Restauração Fluvial
CIRF	Centro Italiano para a Requalificação Fluvial
COPASA	Companhia de saneamento de Minas Gerais
CV	Coefficiente de variação
DALY	Disability Adjusted Life – Years
DAMA	Departamento Administrativo del Medio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
$d^M_p(a_i)$	Distância de Minkovski entre os pontos a^M_i e a_{ij} ; ao ideal
$d^m_p(a_i)$	Distância de Minkovski entre os pontos a^m_i e a_{ij} ; ao anti-ideal
DNP	Departamento Nacional de Planeación - Colômbia
$D_p(a_i)$	Taxa de similaridade
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EAAB	Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá
ECRR	European Centre for River Restoration
ELECTRE	Elimination et Choix Traduisant Réalité
EM	Equipament management
EPA	Environment Protection Agency
FIFO	First-in, First- out
FISRWG	Federal Interagency Stream Corridor Restoration Working Group
$I_{(AQ)}$	Indicador alteração das vazões
IE	Indicador das ações emergenciais

$I_{(EA)}$	Indicador erosão e assoreamento
$I_{(EM)}$	Indicador estabilidade de margens
$I_{(IL)}$	Indicador inundação no local
$I_{(MCS)}$	Indicador regime sedimentológico
$I_{(MV)}$	Indicador modificação na vegetação
$I_{(PV)}$	Indicador proliferação de vetores
$I_{(PA)}$	Indicador Pressão Antrópica
IR	Indicador de ações de rotina
$I_{(RAH)}$	Indicador risco para assentamentos humanos
$I_{(RME)}$	Indicador recuperação e manutenção de ecossistemas
$I_{(VAR)}$	Indicador vertimento de águas residuais
$I_{(S)}$	Indicador Social
ISA	Índice de Salubridade Ambiental
IWA	International Water Association
j	Critério analisado
MCDA	Multiple Criteria Decision - Aid
MCDM	Multiple Criteria Decision Making
MINAMBIENTE	Ministério de ambiente y desarrollo sostenible
MMAD	Métodos multicritérios de análise de decisão
MMAD	Métodos multicritérios de apoio à decisão
NIS	Negative ideal solution
ONG	Organização não governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
p	Valor que define o tipo de distância
Pa	Número estimado de pessoas afetadas que moram em áreas de risco
PEDEN	Parque ecológico Distrital de Montanha Entrenubes
PIS	Positive ideal solution
PMS	Plano Municipal de Saneamento
POT	Plano de Ordenamento Territorial
PRADIN	Programa de apoio à a tomada de decisão baseada em indicadores
PROMETHÉE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations
PROSOFI	Programa Social Facultad Ingenieria
Pt	Total de pessoas que habitam a área

RRC	River Restoration Centre do Reino Unido
SAD	Sistema de apoio à a decisão
SDA	Secretaria Distrital de Ambiente
SENA	Servicio Nacional de Apredizaje – Colômbia
SER	Society for Ecological Restoration nos Estados Unidos
SOBRADE	Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution.
UNESCO	Organização das nações unidas para a educação, ciência e cultura
WSUD	Water Sensitive Urban Design
w_j	Peso do critério “j”.
ZMC	Zona de manejo da vazão.

1 INTRODUÇÃO

As fontes de água são o eixo de desenvolvimento dos seres humanos e das sociedades. Ao longo do tempo, o homem foi se organizando e formando comunidades preferencialmente no entorno de lugares que dispunham de recursos hídricos, a fim de sustentar as suas necessidades básicas e permitir o desenvolvimento das diferentes atividades socioeconômicas dos assentamentos humanos. A água é bem de consumo final ou intermediário na quase totalidade das atividades humanas. Com o aumento da intensidade e variedade desses usos ocorrem conflitos entre usuários. Uma forma eficiente de evitar e administrar estes conflitos é a gestão integrada do uso, controle e conservação dos recursos hídricos. Isto envolve a consideração de uma grande diversidade de objetivos (econômicos, ambientais, sociais, etc.), usos (irrigação, geração de energia, abastecimento, etc.) e alternativas (LANNA, 2009).

No entanto, de forma paradoxal, muitas dessas atividades causam alteração e deterioração das fontes de água (SABOGAL, 2000). As características da água vêm sendo afetadas pelos fenômenos naturais (arraste de material particulado e dissolvido e presença de matéria orgânica natural), e pelas atividades humanas que fazem com que suas propriedades físico-químicas e microbiológicas variem (GÓMEZ *et al.*, 2007; TORRES *et al.*, 2009).

O presente trabalho apresenta uma contribuição para priorização de intervenções com vistas a restauração em trechos de cursos de água. Nesse sentido, é proposta uma sistemática de análise, baseada em uma metodologia de avaliação da priorização de intervenções em cursos d'água fundamentada em análise multicritério. A escolha e definição de um conjunto de indicadores para priorização de intervenções, considera os aspectos sanitário, risco de inundação, ambiental, hidrológico, sedimentológico, social e de pressão antrópica, buscando auxiliar profissionais e gestores nos processos de tomadas de decisão no tocante a priorização de intervenções em cursos d'água.

Para a aplicação e validação da metodologia de análise proposta, foi realizado um estudo de caso nos trechos de torrentes Bolonia e Yomasa, na cidade de Bogotá, Colômbia.

O presente trabalho encontra-se estruturado em 9 capítulos, sendo a presente Introdução o primeiro deles. O Capítulo 2 apresenta as justificativas e o contexto da pesquisa. Os objetivos e etapas metodológicas adotadas no desenvolvimento do estudo, são apresentados no Capítulo

3. A revisão bibliográfica, é apresentada no Capítulo 4 abordando questões tais como degradação ambiental dos cursos d'água, restauração em cursos d'água; programas de restauração, metodologias de análise para a avaliação da priorização e tomada de decisões. O Capítulo 5 apresenta a sistemática de análise proposta por esta pesquisa. Já no Capítulo 6 é apresentado o estudo de caso realizado com vistas à aplicação da metodologia proposta. O Capítulo 7 apresenta uma análise e a discussão dos resultados da aplicação da metodologia proposta. As conclusões do presente trabalho e as perspectivas para futuros são trazidas no Capítulo 8. E, finalmente no Capítulo 9, são listadas as referencias bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa.

2 JUSTIFICATIVAS E CONTEXTO DA PESQUISA

Na atualidade os recursos hídricos estão sendo gravemente ameaçados pelo desenvolvimento de diversas atividades. Entre essas ameaças se incluem o assoreamento, a poluição, possíveis mudanças climáticas, o desmatamento, as mudanças na paisagem que promovem a degradação dos ecossistemas, a construção de estradas e a mineração a céu aberto, mudanças no equilíbrio dinâmico dos sistemas hídricos. Cada uma das mudanças na paisagem têm um impacto específico, sobre os ecossistemas naturais e impactam direta ou indiretamente os recursos hídricos.

De acordo com Braga & Carvalho (2003) o crescimento urbano e a expansão do território são responsáveis pela proliferação de ocupações e loteamentos com uma infraestrutura precária, produzindo alterações no meio físico de uma bacia hidrográfica, entre os mais citados, há o aumento da frequência e dos prejuízos causados por inundações, a intensificação de processos erosivos urbanos e de transporte e deposição de sedimentos e deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea, tanto por carências em estruturas de esgotamento sanitário e tratamento de esgotos, quanto pela poluição difusa de origem pluvial, assim como a poluição dos rios e corpos de água. Nesse sentido a degradação ambiental dos mesmos afeta os sistemas naturais e os ecossistemas estratégicos das cidades (rios, áreas úmidas, etc.), assim como modifica as condições do meio, alterando os sistemas fluviais gerando uma variedade de impactos.

Estes impactos negativos têm despertado o reconhecimento da importância de se preservar os sistemas naturais remanescentes e recuperar os ambientes degradados. RODHE (1995), *apud* PEREIRA *et al.* (2001) afirma que em diversos países, a partir da década de 60, cresceu a conscientização do público quanto aos problemas de degradação ambiental e suas consequências sociais, o que levou a uma demanda por uma maior qualidade ambiental.

Para tanto, os fatores ambientais deveriam ser expressamente considerados no planejamento urbano em geral e nos projetos específicos, pois os métodos tradicionais de avaliação, baseados somente em critérios econômicos e técnicos, mostravam-se inadequados para auxiliar nas decisões, pelo menos do ponto de vista ambiental.

Assim ações de recuperação de cursos d'água estão sendo planejadas e executadas em diversos países, como Alemanha, Holanda, Dinamarca, Coréia do Sul e Estados Unidos, entre outros (ROHDE *et al.* 2006, WOHL *et al.*, 2005).

Entretanto, os recursos a serem investidos em recuperação de áreas degradadas, nas quais pode-se incluir os cursos d'água, são limitados, devendo os decisores realizar uma escolha com relação a onde intervir prioritariamente.

A tomada de decisão é caracterizada pela necessidade de avaliação de uma série de alternativas, com a finalidade de fazer uma escolha. Frequentemente, este processo de tomada de decisão em temas ambientais necessita de grande número de variáveis, do meio físico, biológico, social e econômico, quantificáveis ou não, cujas combinações podem produzir diferentes alternativas de utilização. Nesse sentido, ferramentas de análise que permitam reunir características tão diversas, atribuir pesos e valores às mesmas, dando prioridade às diferentes alternativas, facilitam tal processo.

Entre as necessidades que levam a pesquisa nos trechos de cursos de água estão: as mudanças de paradigmas para manter os processos hidrológicos regionais; as lacunas no conhecimento das características particulares dos trechos de cursos de água e a carência de ferramentas técnicas para o adequado manejo integrado dos recursos hídricos.

A priorização de atividades faz-se necessária no intuito de apoiar os decisores em relação a seleção de atividades e projetos a serem desempenhados hierarquicamente. Miranda e Almeida (2003) afirmam que a priorização de atividades pode ser efetuada através de métodos multicritério de apoio a decisão, que consideram mais de um critério simultaneamente. Este método poderá ser utilizado no intuito de estabelecer uma prioridade de atividades para os decisores, considerando prazos, custos, recursos, entre outros aspectos.

Ao final do trabalho de pesquisa espera-se que, com a metodologia para a priorização de intervenções em trechos de curso de água, que integra aspectos hidrológicos, riscos de inundação, ambientais, sanitários e sedimentológicos, futuramente possa-se gerar uma ferramenta ou política para contribuir com a restauração e preservação dos cursos de água rurais, urbanos e periurbanos.

3 OBJETIVOS E ETAPAS METODOLÓGICAS

3.1 *Objetivo geral*

O presente estudo tem por objetivo geral propor uma metodologia para priorização de intervenções com vistas a restauração em trechos de cursos de água, integrando aspectos hidrológicos, sedimentológicos, risco de inundação, ambientais, sanitários, sociais e de pressão antrópica.

3.2 *Objetivos específicos*

Para alcançar o objetivo geral a pesquisa conta com os seguintes objetivos específicos:

- Estudar o quadro teórico relativo à avaliação do estado de degradação e pressão dos cursos d'água.
- Definir uma sistemática a ser adotada e escolher indicadores dentre os já existentes e propor novos, quando for necessário, estabelecendo uma agregação para estes.
- Realizar a consolidação da metodologia por meio da aplicação a um estudo de caso na cidade de Bogotá.

3.3 *Etapas metodológicas*

Para a consecução dos objetivos anteriormente mencionados foram realizadas as seguintes etapas do desenvolvimento metodológico da pesquisa, apresentadas de forma sumária a seguir, e detalhadas ao longo deste documento.

A primeira etapa consistiu da revisão da literatura com base nos temas relacionados à urbanização e à degradação ambiental dos cursos d'água, programas de restauração de cursos d'água, utilização de indicadores, metodologias de análise para a tomada de decisões e metodologia de análise multicritério.

A etapa seguinte envolveu a escolha, definição e proposição dos indicadores de avaliação pertinentes à priorização de intervenções em cursos d'água a partir de estudos já realizados com escopo e abordagem similares aos adotados nesta pesquisa.

Definiu-se um conjunto de indicadores de estado, estes foram então apresentados a profissionais atuantes na área ambiental com vistas à sua consolidação. Após consolidados, estes foram agregados, compondo o denominado **Índice de Estado**. A agregação dos Indicadores de Estado foi realizada através do método multicritério *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* – TOPSIS. Para esta agregação é necessário o estabelecimento de pesos que representam a importância relativa destes indicadores. Estes pesos deverão ser escolhidos caso a caso, em função das características locais.

Estabeleceu-se também um indicador relacionado à pressão antrópica na bacia hidrográfica, nas faixas de proteção e um indicador de risco de assentamentos humanos que agregados, também através do método TOPSIS, formando o denominado **Índice de Pressão**. O cruzamento do Índice de Estado com o Índice de Pressão consiste na análise final para hierarquização das intervenções, de forma a permitir ao decisor a priorização dos trechos que melhor atenda à realidade local.

A metodologia proposta foi então avaliada através da sua aplicação a um estudo de caso nos trechos de torrentes Bolonia e Yomasa. Sendo realizada uma análise de sensibilidade. Os resultados foram avaliados de forma a definir os limites de aplicação e as recomendações para trabalhos futuros que permitam o seu aprimoramento.

4 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão apresentadas as informações obtidas na revisão da literatura com base nos temas relacionados com a degradação ambiental dos cursos d'água, programas de restauração de cursos d'água, metodologias de análise para a avaliação da priorização e tomada de decisões, e indicadores relativos a restauração e priorização.

4.1 A urbanização e a degradação ambiental dos cursos d'água

À medida que a população humana se expande, mantém ao mesmo tempo um ritmo de desenvolvimento econômico global crescente, o que leva ao aumento da demanda de recursos alimentares, combustíveis fósseis, minerais e recursos naturais, especialmente os recursos hídricos; como resultado desse aumento, a sobre-exploração dos recursos vai aumentando, buscando a satisfação das necessidades básicas e da economia de consumo. A qualidade de vida das populações no mundo é afetada pela concorrência na obtenção de recursos, o que criou condições desiguais, especialmente para os países que não têm recursos abundantes.

Os cursos d'água apresentam muitos problemas, que decorrem da multiplicidade de funções que proporcionam e da afluência de oportunidades de exploração de recursos que se estendem ao longo da bacia hidrográfica.

Segundo Nascimento e Heller (2005), a ligação entre as cidades e os cursos d'água existe desde as aglomerações urbanas mais antigas, uma vez que estas se localizavam junto aos rios, facilitando a disponibilidade de água para o consumo e higiene das populações, assim como o desenvolvimento de atividades econômicas como agrícolas e artesanais.

Historicamente a criação e desenvolvimento das cidades apresentavam ações distantes dos conceitos de conservação e preservação dos cursos d'água, os quais eram utilizados para fins de abastecimento público ou lançamentos de águas servidas. Sendo assim quando era percebida a falta de vitalidade ou quando se tornava um fator de impedimento para os avanços e desenvolvimento das cidades, por ser espaços ocupados por os cursos d'água nos ambientes urbanos, estes simplesmente eram eliminados da percepção pública (AFONSO, 2011).

Neste contexto Tucci (2005) manifesta que o processo de desenvolvimento urbano teve um aumento considerável na metade do século XX, apresentando concentração de população em

espaços pequenos, gerando impactos aos ecossistemas terrestre e aquático e a população por inundações e doenças. Tal processo é consequência da falta de planejamento e controle do espaço urbano, produzindo efeitos sobre a deterioração da qualidade de vida da população, os recursos hídricos e o meio ambiente.

Ainda que os aspectos do ambiente sejam alterados pela urbanização (o relevo, o uso da terra, a vegetação, a fauna, a hidrologia e o clima), a intensidade desta mudança está mais relacionada às condições fora da ocupação da área e à extensão da mesma (BOLLMAN, 2003).

Para Riley (1998), Davis *et al.*(2003), Bernhardt & Palmer (2007), a ocupação urbana altera as condições hidrológicas da maior parte dos sistemas fluviais, levando como consequência degradação e perda da qualidade hídrica, através de processos de origem antrópicos como a eutrofização, perda de vegetação ripária, mata ciliar e diminuição de fluxo hidráulico; e no comprometimento da integridade biótica de sistemas lóticos.

O desenvolvimento urbano está frequentemente associado com a substituição de ambientes naturais ou seminaturais (solo, vegetação, recursos hídricos) por ambientes construídos e com o direcionamento das águas pluviais e dos esgotos para os corpos d'águas adjacentes (HAUGHTON & HUNTER, 1994).

O resultado desse desenvolvimento algumas vezes devido a falta de planejamento, a leis demasiadamente restritivas, além da falta de fiscalização é a redução das áreas naturais e da biodiversidade, aliada aos efeitos tóxicos da poluição das águas e solos, assim como inundações e enchentes nas áreas urbanas assentadas sobre baixadas e planícies de inundação, as quais são causadoras de doenças de veiculação hídrica, perda de propriedades, dentre outras (COSTA, 2011).

Vários elementos antrópicos são responsáveis pelos impactos ambientais tanto no ecossistema aquático como no terrestre (TUCCI, 2005). Nesse sentido Eurydice (1992) *apud* Torres (2004) considera que a urbanização gera diferentes impactos no ciclo da água, que pode causar perdas quanto aos usos potenciais da água, como pode se observar na Figura 4.1.



Figura 4.1 - Impactos da urbanização sobre os meios aquáticos (Fonte: Eurydice 1992, *apud* adaptação de Torres, 2004)

De acordo com as considerações de Tucci & Bertoni (2003) e Afonso (2011) o processo de urbanização observado nos países em desenvolvimento tem sido realizado de forma insustentável, com deterioração da qualidade de vida e do meio ambiente, apresentando grande concentração populacional com deficiências nos sistemas de transporte, de abastecimento e esgotamento sanitário, problemas de contaminação do ar e da água e inundações.

Porto *et al.* (2000), Barros *et al.* (2007), ressaltam que o entorno dos cursos d'água em áreas urbanizadas nesses países em algumas ocasiões é ocupado pela população de baixa renda, baixa escolaridade, e que vivem em situação precária do ponto de vista sanitário, epidemiológico e domiciliar, tal problemática ambiental reduz as condições de saúde, afetando a qualidade de vida da população.

Nesse sentido de acordo com Taschner (2006), um exemplo dessa ocupação pela população é apresentado na cidade de São Paulo, onde cerca de 50% de seus aglomerados encontram-se às margens dos cursos d'água.

No entanto Dalla (2008) afirma que a degradação dos recursos hídricos é resultado de vários fatores tais como: poluição, canalização e retificação dos cursos d'água; alteração do leito natural; usos inadequados de estruturas de escoamento; remoção da vegetação ciliar; resultando como consequência o desaparecimento dos corpos de água em meio à ocupação urbana.

Além dos fatores apresentados acima, a canalização e retificação do leito dos cursos d'água e implantação de vias, são ações que visam mitigar e controlar as inundações. Diante do exposto, dentro da percepção de sustentabilidade, tais estruturas algumas vezes são construídas de forma inadequada, tornando-se responsável pela modificação ou extinção dos *habitats* e da biodiversidade, elementos indicadores da variedade de paisagem.

Para Nascimento & Heller (2005), os fatores de degradação dos cursos d'água estão relacionados aos processos hidrológicos no meio urbano. Conforme os mesmos autores *“Desta maneira, o estudo destes fatores engloba a observação de alterações no sistema natural dos rios, com respeito aos diferentes padrões de uso do solo; poluição difusa de origem pluvial e os impactos sobre os meios receptores; poluição das águas por esgotos sanitários; presença de resíduos sólidos nos sistemas de drenagem pluvial e corpos hídricos”*.

Atualmente existem novas abordagens para reversão e minimização da problemática de urbanização desordenada e do descaso com os cursos d'água presentes. Neste contexto, o atual estado de degradação em que se encontram os cursos d'água no meio urbano é representado por três fatores, i). poluição das águas, ii). presença de inundações, os quais são responsáveis pela redução da qualidade de vida da população e iii). Perda de áreas para recreação, lazer e contemplação.

Por causa dos impactos antrópicos, muitos dos sistemas fluviais urbanos se encontra em más condições ambientais, impedindo a utilização do recurso hídrico para fins de abastecimento público ou atividades de desenvolvimento econômico, agropecuárias ou irrigação, comprometendo em alguns casos as condições de sobrevivência das populações, além de não

oferecer condições ecológicas para as comunidades aquáticas. Nesse sentido, Pompêo (2000) propõe a análise integrada das relações entre os ecossistemas naturais, o sistema urbano artificial e a sociedade, propondo a recuperação dos cursos d'água através da despoluição, evitando quando for possível as canalizações e criando áreas de lazer.

Resta ainda considerar que o planejamento das cidades em diversas partes do mundo, tem levado à formulação de obras multipropósito que ajudem na manutenção dos processos naturais (REUSS, 2005). Tendo em vista a multiplicidade de funções dos cursos de água, a sua avaliação e comparação se torna complexa, englobando vários aspectos do seu funcionamento.

4.2 Restauração em cursos de água

De acordo com FISRWG (2001), a restauração de cursos d'água é uma tarefa complexa que começa pelo reconhecimento das perturbações naturais ou das induzidas pelo homem que são prejudiciais à estrutura, às funções do seu ecossistema impedem a sua recuperação a uma condição sustentável.

Existem varias experiências e projetos de restauração de cursos d'água implementados principalmente em rios de América do norte, Europa, Ásia e Austrália (HILLMAN *et al.* 2005; WOHL *et al.*, 2005; BUIJSE *et al.*, 2002; BERNHARDT, 2006). Tais projetos foram impulsionados por meio do estabelecimento de normatividade visando a conservação e recuperação dos ambientes fluviais como: Clean Water Act (1972) nos Estados Unidos, Directiva Quadro da Água (2000) na União Européia e Water Resources Act (2007) na Austrália.

Isso tem permitido avançar na identificação de diretrizes e objetivos, tendo em consideração os programas de restauração de cursos d'água e suas bacias, assim como de seus fatores biofísicos e sociais. Nessas experiências, tem sido observada a importância dos aspectos de escala, variabilidade natural e complexidade, assim como sua orientação, até o cumprimento das metas específicas de restabelecimento dos ecossistemas fluviais (HILLMAN *et al.*, 2005). Apesar das pesquisas e a aplicação de técnicas com enfoque ecossistêmico, ainda continuamos a observar a degradação dos cursos d'água (PALMER, 2008).

Alguns dos elementos mais importantes mencionados por Palmer (op. cit.) tratam-se da continuação no desenvolvimento e mudanças do uso do solo nas bacias contribuintes, assim como o incremento da população, que geram impactos negativos.

Mundialmente, no caso da gestão dos rios, o paradigma dominante tem sido focado na engenharia com ênfase nos princípios da hidráulica, tendo como finalidade a solução de problemas de funcionalidade dos rios (controle de inundações, adaptabilidade para navegação, disponibilidade para abastecimento, etc.) (MANCE *et al.*, 2002 *apud* HILLMAN *et al.*, 2005).

Neste contexto, surgem os procedimentos de restauração de cursos d'água, com a visão de alcançar uma integridade ecológica, entendida como a capacidade de auto-suficiência das entidades ecológicas (população, comunidade, ecossistema) e processos (dinâmica de nutrientes, transporte de sedimentos, etc.) (ANGERMEIER, 1997 *apud* WOHL *et al.*, 2005).

Para responder a médio e longo prazo tais desafios, deve-se ter em conta que existem limitações, tais como a falta de conhecimento das bacias hidrográficas, a dinâmica dos processos em diferentes escalas, a inapropriada estrutura institucional para a gestão e adaptação a grande escala e a falta de apoio político para restabelecer a prestação dos serviços ambientais dos ecossistemas fluviais degradados. Adicionalmente, o pouco desenvolvimento desta área de pesquisa se reflete na carência de metodologias unificadas e estabelecidas, aplicáveis a projetos de restauração de sistemas fluviais, considerando os objetivos e as características do ambiente.

De acordo com Cardoso (2008), a restauração de rios e cursos d'água é uma disciplina relativamente nova e em constante avanço. Experiências de projetos de restauração em outros países demonstram que esta disciplina se praticou no início como um conjunto de ações empíricas sob uma escassa rigorosidade científica.

Recentemente tem-se detectado que a integração de resultados de pesquisas e o intercâmbio de diferentes visões da comunidade científica pode contribuir em grande medida ao desenvolvimento deste tipo de projeto. Adicionalmente, devido à importância da restauração focada aos ecossistemas, hoje em dia os projetos de restauração de corpos de água, devem contemplar conjuntamente aspectos sociais e ecológicos, os quais determinam seu êxito (KATES *et al.*, 2001 *apud* WOHL *et al.*, 2005, ANDERSON *et al.*, 2003).

Ao anteriormente mencionado se considera necessário: identificar e reconhecer as complexidades e incertezas associadas ao objeto de estudo (corpos de água), desenvolvendo continuamente um marco conceitual e científico que permita cumprir com as leis fundamentais do comportamento dos sistemas fluviais, desenvolver tecnologias de monitoramento para o seguimento do conjunto de variáveis básicas em escalas apropriadas, dar suporte as decisões institucionais e as ações explícitas de restauração de rios com base em resultados técnicos e em vontades da comunidade ribeirinha, desenvolvendo métodos de restauração que sejam eficazes dentro das limitações existentes.

Nesse sentido diversos autores – Rosgen (2006), Palmer (2008), e organizações como a Society for Ecological Restoration (SER) nos Estados Unidos, a SER International, o Centro Italiano per la Requalificazione Fluviale (CIRF) da Itália, o River Restoration Centre (RRC) do Reino Unido, entre outros na Europa, e a Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas (SOBRADE) no Brasil – conceituam diversos termos e conceitos empregados para tratar restauração e outros conceitos referentes a esta questão. No entanto para Cardoso (2012), existe uma considerável falta de consenso sobre a utilização de terminologias referente a restauração, exemplo como reabilitação e renaturalização, aumentando as discrepâncias na utilização e significado do conceito a ser empregado. Os quais são amplamente utilizados, mas não claramente definidos, e são apresentados a seguir na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Termos e conceitos referentes a restauração de acordo com diversos autores. (Continua)

Termo	Conceito	Autor
Restauração	Processo de levar uma área fortemente alterada até um ecossistema o mais similar possível ao original.	Luken (1990)
	Restabelecimento da estrutura e função dos ecossistemas. Nesse sentido, visa aproximar o ecossistema ao máximo possível das condições e funções existentes antes da perturbação sofrida. O caráter dinâmico dos ecossistemas está implícito nessa definição, de modo que não seria possível recriá-los completamente.	FISRWG (1998)
	Processo de alteração intencional de um local para sua forma natural através de processos e intervenções que levem a re-estabilizar a relação de sustentabilidade e saúde entre o natural e o cultural. Visando simular a estrutura, a função, a diversidade e a dinâmica de um ecossistema específico, de acordo com as características históricas.	United Kingdom Ecological Restoration Society, <i>apud</i> Riley (1998)
	Recuperação das condições sustentáveis de um rio ou um curso d'água e de suas funções e serviços ecossistêmicos, após constatadas alterações naturais ou antrópicas que venham afetar a sua estrutura e impedir o seu restabelecimento.	FISRWG (2001)
	Processo de compensar intencionalmente, por danos cometidos pelos seres humanos à biodiversidade e à dinâmica de ecossistemas nativos, trabalhando e mantendo processos regenerativos naturais de maneira que levem ao restabelecimento de relações sustentáveis e saudáveis entre natureza e cultura.	Riley (2004)
	Estabelecimento de melhores condições para a ocorrência dos processos hidrológicos, geomorfológicos e ecológicos em um ambiente degradado.	Wohl <i>et al.</i> , (2005)
	O objetivo da restauração não é 'recriar' uma forma de ecossistema prístino ideal, mas estabelecer um ecossistema onde os processos possam realmente se encaixar dentro da área disponível, que pode ser limitada pelas necessidades de outros usuários da terra.	Andel & Grootjans (2006)
	Descreve o retorno de um ecossistema natural inteiramente recuperado.	Findlay & Taylor (2006)
	É um esforço complexo, que começa reconhecendo os distúrbios naturais ou humanos que estão danificando a estrutura e as funções do ecossistema, ou impedindo a sua recuperação a uma condição sustentável.	Pereira <i>et al.</i> (2008)
	Realização de ações adequadas para que o ecossistema retorne o mais rápido possível a suas condições naturais, à situação original do curso de água antes da intervenção humana.	Reynoso <i>et al.</i> (2010) <i>apud</i> Cardoso (2012)
Recuperação de um ecossistema degradado, considerando os seus aspectos naturais e a respectiva integração dos seus fatores bióticos e abióticos.	Society For Ecological Restoration (2004)	
Reabilitação	É representada por ações que possibilitem o retorno parcial das condições biológicas e físicas do rio a sua condição original, podendo restituir as suas funções ecossistêmicas.	Findlay & Taylor (2006)
	Refere-se a uma condição ao longo de alguns vetores da restauração onde elementos do sistema biofísico natural são retomados, mas nem todos.	

Tabela 4.2 – Termos e conceitos referentes a restauração de acordo com diversos autores. (Conclusão)

Termo	Conceito	Autor
Remediação	Melhoria do ambiente através da modificação do ecossistema em uma determinada área e não do retorno ao ecossistema original.	Findlay & Taylor (2006)
Renaturalização	Consiste na recuperação de rios por meio de manejo regular evitando os usos antrópicos que inviabilizam as suas funções, de modo a regenerar o ecossistema buscando o mais próximo possível o restabelecimento da sua biota natural, bem como a conservação das áreas naturais de inundação.	Binder (2001)
	Não significa a volta a uma paisagem original não influenciada pelo homem, mas corresponde ao desenvolvimento sustentável dos rios, da paisagem e das bacias hidrográficas, de acordo com as necessidades urbanas e conhecimentos contemporâneos e portanto tais ações refletem diretamente na qualidade das bacias hidrográficas.	Saunders & Nascimento (2006)
	É constituída por intervenções mais amplas, pelo fato de abranger aspectos como a recomposição da biota aquática, a conservação das áreas naturais de inundação, ações que visam a melhoria da qualidade da água, como a redução ou eliminação das fontes pontuais de poluição.	Zahed <i>et al.</i> (2009)
Requalificação	Conjunto de práticas que objetivam melhorar a qualidade de um corpo d'água através de ações estruturais e não estruturais. As estruturais são intervenções na bacia hidrográfica, enquanto as não estruturais dizem respeito aos instrumentos de gestão que viabilizam o manejo sustentável da bacia.	Ribeiro <i>et al.</i> (2011)
	Conjunto integrado e sinérgico de ações e técnicas, dos mais diversos tipos (desde aspectos jurídico-administrativo-financeiro até aspectos estruturais), destinadas a tornar um curso d'água, com a área mais intimamente ligada a ele ('sistema do rio'), em um estado mais natural possível, capaz de desempenhar as suas funções nas características do ecossistema (geomorfológicas, físicas, químicas e biológicas) e com maior valor ambiental, tentando satisfazer ao mesmo tempo o desenvolvimento socioeconômico.	CIRF (2006)
Revitalização	Consiste na preservação, conservação e na recuperação ambiental dos rios, por meio de ações integradas que proporcionem a melhoria da qualidade da água para os usos múltiplos, bem como a melhoria das condições ambientais e o uso sustentável dos recursos naturais.	MMA FNMA (2005)
	Tendem a refletir na melhoria das condições de vários fatores importantes para o equilíbrio ambiental, sendo estes fatores representados pela qualidade da água, hidrologia, geomorfologia, conservação da biodiversidade, economia, educação ambiental, qualidade do ar, auxílio na regulação climática e harmonização da paisagem. Estes itens contemplados podem proporcionar a melhoria da qualidade dos ecossistemas e o bem estar das populações, visando proporcionar melhor qualidade ambiental nas bacias hidrográficas e nas respectivas cidades que as integram.	Afonso (2011)

A palavra **restauração** deriva do latim *restauratio*, é definida como um conjunto de atividades que visam restabelecer ou reparar danos decorrentes do tempo, nesse sentido e levando em consideração a terminologia anteriormente mencionada para esta pesquisa o termo **restauração** definido como o “restabelecimento de condições físicas, químicas e biológicas ao estado anterior a um distúrbio focado na busca de um novo equilíbrio ambiental”, foi escolhido e considerado o mais pertinente dentre os demais, tendo em vista seu amplo emprego no meio técnico – científico e a abrangência da sua abordagem.

Considerando os diferentes termos descritos anteriormente é importante ressaltar dois fatos interessantes; vários autores incorporam dimensões paisagísticas, ecológica e a qualidade de água dentro da perspectiva da restauração de cursos de água e a outra que para a consecução exitosa de um processo de restauração, a percepção e participação comunitária é uma necessidade e não uma opção, já que pode se converter em uma ferramenta importante no processo de definição de objetivos, planejamento, programação e condução de ações e alcançar os resultados previstos.

Nesse sentido Findlay & Taylor (2006) mediante um diagrama esquemático apresentado na Figura 4.2, mostra uma distinção entre os processos de restauração, reabilitação e remediação, os quais na Austrália foram amplamente discutidos por diversos pesquisadores como (Abernethy & Wansbrouhg (2001), Bennett *et al* ,(2001), Brierley & Fryirs (2001), Brocks *et al.*(2001).

Descrevendo assim a restauração com o retorno de um sistema a um ecossistema natural totalmente recuperado. Em contraste, a reabilitação descreve uma condição ao longo do mesmo vetor como a restauração, onde os elementos do sistema biofísico naturais são devolvidos, mas não todos, por exemplo, os projetos de restauração pode efetivamente atingir morfologia do canal e mata ciliar, mas não a magnitude e a frequência dos fluxos, muitas vezes, um passo essencial para alcançar a restauração de fluxo completo. E a remediação é descrita como a melhoria do ambiente através da modificação do ecossistema em uma determinada área e não do retorno ao ecossistema original.

No diagrama, o número de lados de cada forma significa a complexidade do sistema que representa com ecossistemas originais exibindo uma maior biodiversidade e complexidade do que ecossistemas criados/modificados. Igualmente a estrutura do ecossistema ou a riqueza de

espécies é representado pelo número de diferentes espécies presentes dentro de um sistema no qual um sistema natural tem mais a diversidade de espécies em comparação com quando é degradada. A função do ecossistema ou biomassa é representado pelo número de pessoas presentes dentro de um sistema e é essencialmente uma indicação da produtividade.

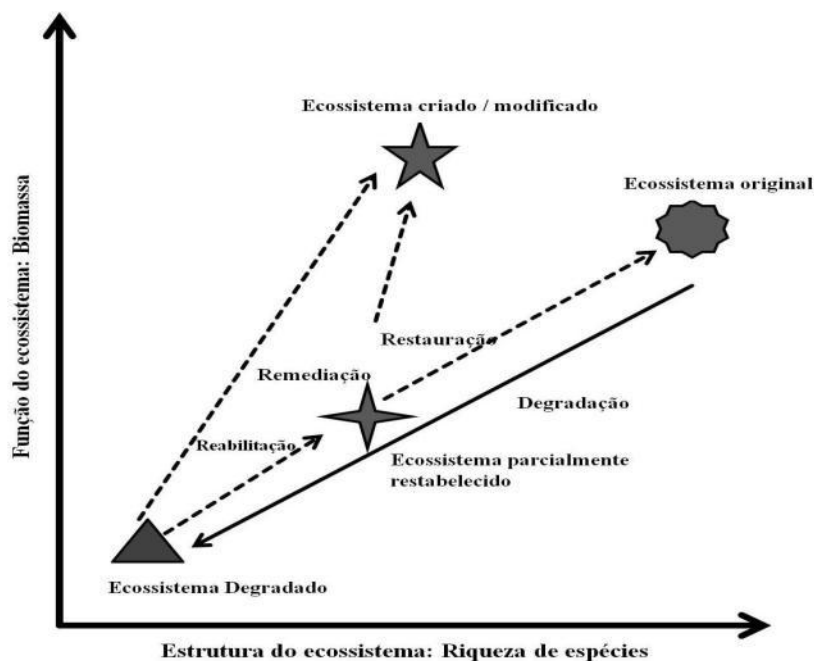


Figura 4.2 – Esquema: distinção entre os processos de restauração, reabilitação e remediação
Adaptado de Findlay & Taylor (2006).

De acordo com Palmer (2008), existem três áreas de maiores conhecimentos ecológicos fundamentais para o êxito da restauração: a dinâmica do sistema, a escala e o contexto da dependência e a diversidade. Neles se definem as bases científicas da restauração, as quais se deve incluir as interações dos processos físicos (hidrológicos e geomorfológicos) com os processos ecológicos e os fatores sociais, que incluem o conhecimento tanto da estrutura do ecossistema como de sua função.

Berghusen (2004), afirma que para o desenvolvimento de projetos de restauração existem três fases distintas: (i) levantamento sobre outros projetos de restauração, para que se estudem as melhores técnicas a serem aplicadas; (ii) estudo detalhado do local a ser restaurado, para que se aplique a metodologia mais indicada, tendo em vista as condições fisiográficas, grau de urbanização, uso e ocupação do solo; (iii) implantação da intervenção proposta e sua avaliação.

Pelo anteriormente mencionado, autores como Riley, (1998), Bernhardt *et al.*, (2005) e Booth (2005) consideram que as técnicas empregadas nos programas de restauração de cursos d'água geralmente buscam contemplar as seguintes metas: (i) estabilizar as margens; (ii) reconfigurar o canal fluvial; (iii) remover estruturas artificiais (p.ex. barragens); (iv) facilitar a movimentação e migração de peixes (p.ex. remover barreiras); (v) reconectar o rio à várzea (proporcionar troca de fluxos); (vi) restaurar a mata ripária; (vii) aumentar os habitats físicos (p.ex. construir rápidos e poços); e (viii) melhorar a qualidade da água, removendo as fontes de poluição.

Neste contexto McBride *et al.*, (2010) afirmam que a restauração é uma ferramenta cada vez mais importante para a gestão e melhoria dos ambientes alta, mediana e pouco degradados ou alterados. Para o desenvolvimento de uma teoria geral para a restauração é necessário que esta seja suficientemente sofisticada e robusta para dar conta da complexidade inerente de planejamento da restauração, e ainda flexível e adaptável para garantir a aplicabilidade a um conjunto diversificado de problemas de restauração.

4.3 Experiências em nível mundial

De acordo com os diferentes objetivos da restauração apresentam-se algumas experiências a nível mundial, sendo estas descritas em função da disponibilidade de informação. A maioria das experiências se referem à restauração de rios de maior porte, já que os avanços mais significativos e relevantes no tema de restauração de cursos d'água, tem sido obtidos a partir de experiências sobre estes que, geram impactos de ampla magnitude sobre os assentamentos humanos e os ecossistemas (RILEY, 1998).

Como será visto, algumas destas experiências pesquisadas de processos de restauração em cursos d'água foram bem sucedidas, e outras não.

4.3.1 Rio Brent - Inglaterra

Segundo Environment Agency (2006), o projeto de restauração do rio Brent foi realizado durante os anos 1999 e 2003 na cidade de Wembley, ao nordeste de Londres, Inglaterra. A Figura 4.3 mostra o rio em 1999, antes do início do trabalho.



Figura 4.3 - Poluição do Rio Brent antes do processo de restauração no ano de 1999 (Fonte: Environment Agency, 2006)

Após a segunda guerra mundial o rio foi canalizado, mediante a construção de um canal retangular em concreto, sem nenhuma conexão com sua planície de inundação, igualmente o rio não possuía nenhum tipo de vida aquática. Este se encontrava propenso a enchentes e foi vedado ao público.

O projeto foi desenvolvido mediante a restauração de duas seções do rio por meio de re-meandrização, para a passagem do canal ao longo de sua rota original, criando um canal com remansos e com naturalização das margens do rio. Durante a intervenção realizada no corpo de água, se desenvolveu um projeto para a construção de um parque em torno do rio, com o fim de garantir à população um espaço de lazer e um melhoramento do entorno. Igualmente com a realização do projeto, a restauração melhorou a diversidade da vegetação e da fauna existente na área e foi possível manter o nível de proteção contra enchentes (Figura 4.4.)



Figura 4.4 - Processo de restauração do rio Brent durante a construção, ano de 2003 e depois em 2005. (Fonte: Environment Agency, 2006)

4.3.2 Rio Bain - Inglaterra

O projeto foi proposto no ano de 1998, em Horncastle, Inglaterra. A assessoria do projeto foi realizada por arquitetos paisagistas em parceria com cientistas associados ao Centro de Restauração de Rios do Reino Unido.

De acordo com o River Restoration Center (1998), o trecho objeto da restauração apresentava problemas característicos de rios urbanos. A planície de inundação foi utilizada para o estabelecimento de um supermercado e uma área de estacionamentos, o regime do rio foi modificado mediante a instalação de um vertedouro de controle, as margens apresentavam problemas de erosão muito amplos, com um canal reto e um fundo muito assoreado.

O processo de restauração deste corpo de água ajudou no incremento dos serviços ambientais mediante a recuperação de atributos ecológicos funcionais, contemplou melhorias geomorfológicas para as vazões existentes, melhorou o acesso do público e o sentido de apropriação sobre o rio por parte da comunidade.

O resultado da intervenção foi um sistema totalmente reconstruído. Sobre o leito do rio se adequaram lagos e piscinas pequenas, com rochas trazidas de outros lugares, permitindo assim a localização de invertebrados e peixes nestes *habitats* pseudo-artificiais. Nas margens foram plantadas espécies nativas, as quais foram protegidas com redes e malhas biodegradáveis para reduzir a erosão em épocas de cheias, e também evitar o carreamento das sementes e das plântulas durante as primeiras fases de crescimento, antes da completa consolidação do ecossistema ripário, como se pode observar na Figura 4.5.



Figura 4.5 - Rio Bain antes e depois do processo de restauração. (Fonte: River Restoration Center, 1998)

4.3.3 Rio Liesing - Áustria

O projeto de restauração do rio Liesing iniciou a partir do ano 2002. É uma experiência de restauração de um corpo de água altamente transformado pelo desenvolvimento urbano, em Viena. A meta para o ano 2015 é ter concluída a restauração de toda a porção vienense do rio. SARVAN (2006).

O rio tem sofrido modificações drásticas com as medidas de controle de cheias no interior da cidade. As principais transformações foram retificação, redução da largura do curso,

revestimento do leito, encaixamento do curso com taludes íngremes, controle de crescimento de vegetação ao longo do corredor ripário e diminuição da biodiversidade.

Dentro do desenvolvimento do projeto tem-se em conta alcances tais como: restaurar a continuidade ecológica do rio, reconstruindo *habitats* aquáticos e outras condições morfológicas; desenhos ecológicos que cumpram com os requisitos para assegurar a proteção da cidade contra as inundações; a integração de praias e áreas inundáveis, para o restabelecimento de antigos meandros; construção de um curso seminatural com substrato em cascalho; restauração da capacidade de transporte natural do rio; redução de inclinações dos taludes, estendendo seu alcance em forma paralela ao curso do rio e protegendo sua superfície com estratégias de bioengenharia para evitar a erosão; restabelecimento do corredor ripário e criação de *habitats* para espécies prioritárias e a diversificação de espécies da ictiofauna (Figura 4.6).



Figura 4.6 - Rio Liesing antes e depois do processo de restauração. (Fonte: Sarvan, 2006)

A seguir são apresentadas de forma mais sintética outras experiências de restauração em contexto mundial (Tabela 4.2).

Tabela 4.3 – Outras experiências de restauração de cursos de água. (Continua)

Projeto / Rio	Descrição	Resultados
<p>Rio Morava - Eslováquia (Fonte: Water Framework Directive, (2006 b))</p>	<p>O projeto foi realizado no ano de 2004 na cidade de Slovak, Eslováquia. O tipo de intervenção feita no corpo de água foi de restauração geomorfológica com reconexão de áreas de inundação.</p>	<p>A proteção contra as inundações no âmbito do projeto de restauração encontra-se em medidas não estruturais, proteção e gerenciamento de planície de inundação.</p> <p>Os resultados do projeto foram negativos já que a resposta ecológica não foi materializada, o que causou piora na situação dos meandros tendo como resultado terrenos ainda mais isolados.</p>
	<p>O objetivo global foi a concepção de uma estratégia para a revitalização do sistema do rio. A proteção contra as inundações foi fator de grande importância no projeto.</p>	<p>A reabertura dos meandros causou a redução da riqueza de espécies da fauna aquática. Sendo observado tanto no zooplâncton como nos bentos com aumento de clorofila-a, indicando um aumento no nível trófico (eutrofização).</p>
	<p>O curso de água encontrava-se reduzido (24 meandros foram cortados), criando um sistema fluvial marginal, reduzindo a conectividade hidrológica. O projeto previa a reconexão dos meandros para restaurar a conectividade hidrológica.</p> <p>Igualmente a planície de inundação foi significativamente reduzida a partir das barreiras contra inundação originais.</p>	<p>A avaliação da falha do projeto deixa como conclusão que se faz necessária realizar uma análise hidráulica que mostre como era a situação prévia ao início da intervenção, para compreender os processos hidráulicos.</p> <p>No projeto supôs-se erroneamente que o rio contava com a dinâmica necessária para a conformação de meandros e nichos ecológicos (Figura 4.7).</p>
<p>Rio Chess (Fonte: EnvironmentAgency, 2006)</p>	<p>Projeto realizado em 1994 na cidade de Chesham, Buckinghamshire, Inglaterra. A intervenção foi de restauração ecológica e geomorfológica.</p>	<p>O projeto apresentou como solução o estreitamento do curso nas suas dimensões mais próximas do estado natural permitindo melhorar as velocidades de escoamento (Figura 4.8).</p>
	<p>Antes da intervenção o rio foi expandido em largura e profundidade para o uso das serrarias. Com a restauração diminuiu-se a largura e declividade do rio. Restauraram-se os habitats , e criaram-se áreas de lazer, reduzindo-se os riscos de inundação.</p>	<p>Complementarmente, pôde-se apreciar uma recuperação significativa do corredor ripário. De maneira similar a outros casos anteriormente mencionados, conseguiu-se também a recuperação dos valores ecológicos e de lazer.</p>

Tabela 4.2 – Outras experiências de restauração de acordo com diversos autores . (Conclusão)

Projeto / Rio	Descrição	Resultados
<p>Rio Cheonggyecheon – Coréia do Sul (Fonte: NOH, 2010)</p>	<p>Em 1958, a cidade cobriu o rio, para dar lugar a uma autoestrada principal elevada. No entanto, testes realizados para análise da estabilidade estrutural da rodovia na virada deste século consideraram que havia riscos e custos muito elevados em sua reparação. Com isso, o Conselho da Cidade de Seul optou pela recuperação do rio e a renovação urbana. Assim, o foco do projeto foi criar um espaço restaurado, onde as pessoas pudessem desfrutar de seu tempo livre, reincorporando o rio à cidade.</p> <p>Nesse sentido o Projeto nacional de restauração de rios na Coréia do Sul, desde o ano 2008, tem como objetivo garantir que as margens dos rios que sofrem inundações sejam convertidas em lugares onde a população possa desfrutar de espaços de lazer, cultura e do ecossistema.</p>	<p>Como resultados do projeto se têm: a limpeza de depósitos aluviais para aumentar a capacidade da corrente e a qualidade de água e evitar as inundações; função ecológica e de manutenção urbana do rio Cheonggyecheon, tais como ambiente para a biota aquática e atração para visitantes; aumento do número de espécies de peixes (de 4 para 25), de aves (de 6 para 36) e de insetos (de 15 para 192); redução na poluição do ar por material particulado ao longo do corredor Cheonggyecheon (de 74 microgramas por metro cúbico para 48); Redução da temperatura média de verão em áreas próximas ao rio; melhora na mobilidade (capacidade e velocidades de transportes), com a expansão dos serviços de ônibus, redução do número de pistas para carros, e redução da quantidade de carros permitidos, associados ao aumento dos preços de estacionamento; melhora na acessibilidade para pedestres, devido à redução do tráfego de veículos, melhora na qualidade do ar; a substituição de prédios de concretos com instalações eco amigáveis gerando assim um aumento significativo nos valores das propriedades como resultado do projeto de restauração ; a transformação das áreas de estacionamento nas margens do rio em áreas verdes e úmidas; a destinação das margens em áreas de lazer e recreação passiva, construção de trilhas, ciclovias e praças, e por último a ampliação da participação dos construtores locais para criar novos postos de trabalho e revitalizar as economias locais. Como pode ser observado na Figura 4.9.</p>

A seguir são apresentadas as Figuras mencionadas anteriormente na Tabela 4.2.

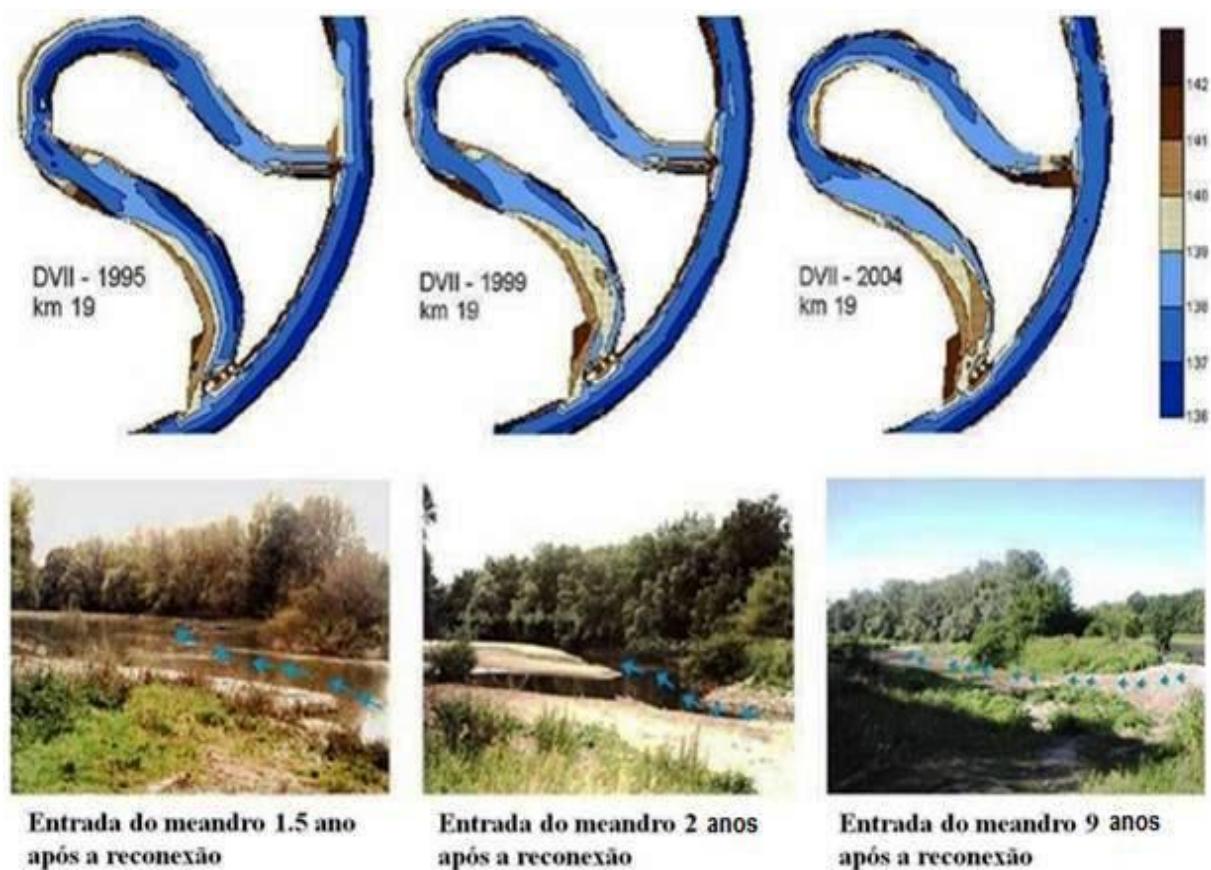


Figura 4.7 - Rio Morava depois da reconexão (Fonte: Water Framework Directive, (2006b))



Figura 4.8 – Rio Chess antes (à esquerda) e depois (à direita) do processo de restauração
(Fonte: Environment Agency, 2006)

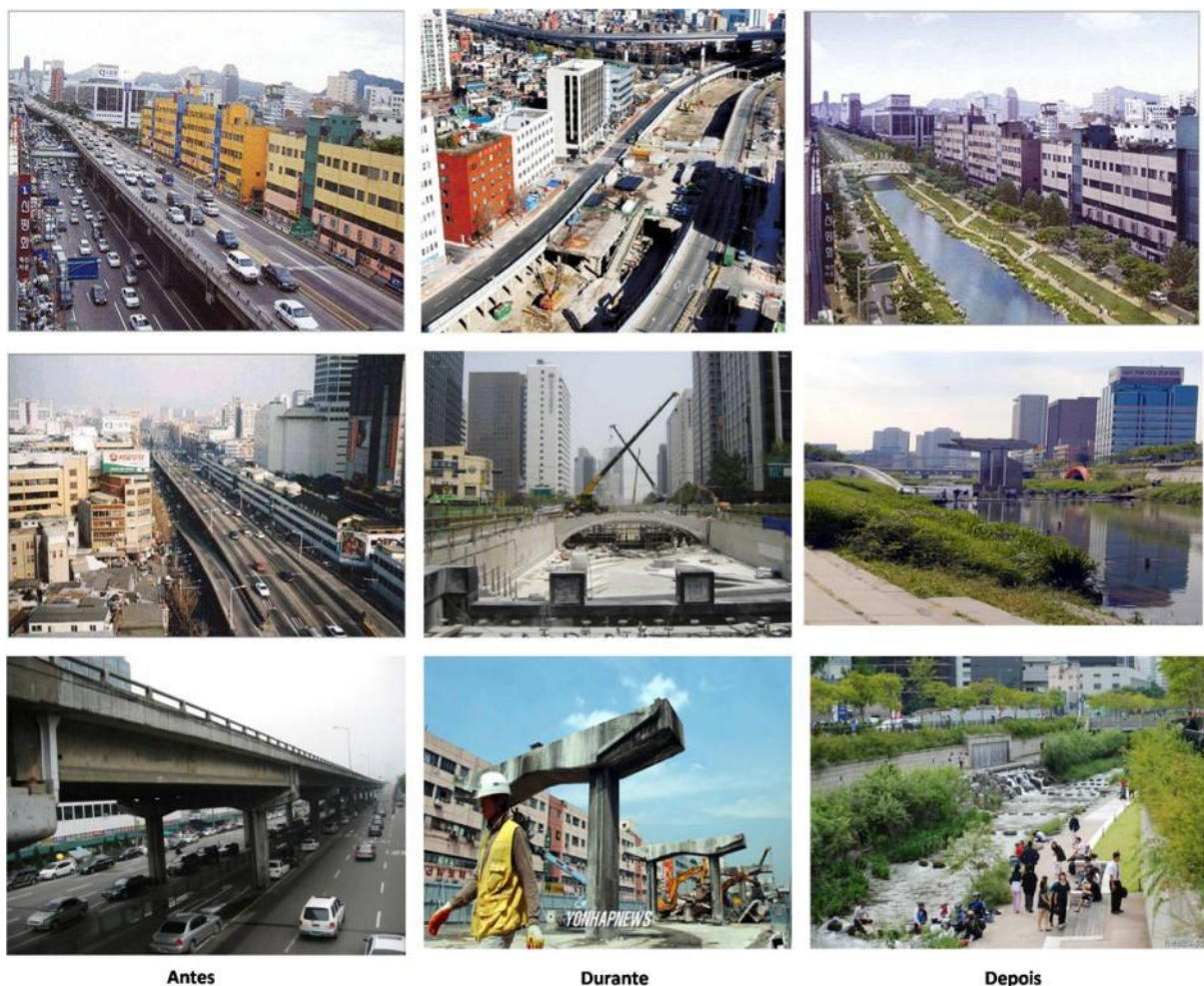


Figura 4.9 - Rio Cheonggyecheon em Seul, antes e depois da restauração (Fonte: adaptação de Arquitetônico - Arte, Cultura e Arquitetura, 2011)

Adicionalmente aos casos anteriormente citados pode-se descrever enfoques e tendências internacionais sobre a restauração de corpos de água, visando desde as ações para o manejo do regime de vazões, incluindo medidas de controle de inundações e intervenção nas faixas ripárias, com medidas de manejo da cobertura vegetal como forma de mitigar os problemas resultantes de processos erosivos das margens. Além disso observa-se o enfoque de recuperação da corrente e do corredor ripário e o aproveitamento das áreas marginais para lazer.

Não entanto em função da influência dos cursos de água nas bacias hidrográficas, torna-se importante citar que os processos de restauração devem considerar as consequências de suas ações e efeitos no âmbito das bacias hidrográficas. Os efeitos dos processos de restauração não devem ser pontuais, mas de forma sistêmica também devem proporcionar a melhoria das condições ambientais das bacias hidrográficas.

Nesse sentido é de ressaltar que as diretrizes europeias atuais para a qualidade dos cursos de água, abordam a integração de parâmetros físicos, químicos, biológicos e morfológicos, baseada em uma visão avançada e sistemática as quais anteriormente abordavam apenas como parâmetros de qualidade dos rios, os índices de poluição orgânica originada principalmente por questões sanitárias, e poluição química oriunda dos processos industriais.

Igualmente dentro deste contexto das experiências em nível mundial, pode-se considerar que um dos casos mais interessantes e ao mesmo tempo ousados em relação a questão, foi o caso ocorrido com o rio Cheonggyecheon em Seul na Coreia do Sul, destacando alguns resultados importantes como: a restauração histórica e cultural do centro de Seul, implementação de tratamento de efluentes, execução de projetos de paisagismo e iluminação, obras de controle de cheias, além do retorno do rio para o convívio, interação e integração da cidade e a população, sem poder constatar dentro deste processo se teve melhoras no âmbito ambiental considerando a escassez de literatura respectiva para esta experiência.

Nesse contexto pode-se então citar que as ações que objetivam a melhoria da qualidade dos cursos de água, devem refletir não só na melhoria das condições ambientais destes, mas também na melhoria das condições das bacias hidrográficas e das cidades que habitam os seus respectivos rios, propondo para a população a construção de um novo estilo de vida, ligando os aspectos econômicos e culturais a boa gestão de suas águas, propondo que as áreas verdes, os vales e corredores dos cursos de água possam ser espaços para a recreação e para os indispensáveis serviços dos ecossistemas visando fortalecer tendências e características de cidades sustentáveis ou ambientalmente mais adequadas.

4.4 Faixas de proteção de cursos de água

Diversos autores vêm tratando das dinâmicas naturais dos corpos d'água e referem-se às complexas relações que existem entre os processos hidrológicos, geomorfológicos, ecológicos, sociais e econômicos (LORENZ, *et al.*, 2004, ARTHINGTON, *et al.*, 2006 e FISRWG, 2001). Esses autores ressaltam a necessidade de abordar os problemas associados com os sistemas de águas correntes a partir de um ponto de vista holístico (ARTHINGTON, *et al.*, 2006 e POFF, *et al.*, 1997).

Os serviços ambientais que prestam os sistemas aquáticos são amplamente reconhecidos, como abastecimento de água, drenagem, amortecimento de inundações, equilíbrio do ciclo

hidrológico, equilíbrio da dinâmica de sedimentos e nutrientes, melhoramento da qualidade da água, manutenção da qualidade do solo, controle da erosão e regulação ecológica, melhoramento da paisagem e lazer. Portanto, o enfoque dado à gestão e à administração da água deve manter os bens e serviços ambientais para a cidade e proteger a biodiversidade, além de recuperar a variabilidade da vazão natural, levando em consideração a magnitude, frequência, tempo, duração, tipo de mudança e previsão de eventos externos (ARTHINGTON *et al.*, op. cit.).

Os cursos d'água criam condições únicas ao longo de suas margens que controlam e influem as transferências de energia, nutrientes e sedimentos entre os sistemas aquáticos e terrestres. As áreas ribeirinhas ou faixas de proteção estão entre as características mais importantes da paisagem, porque na maioria de vezes contêm uma ampla diversidade de plantas e animais e ajudam a manter a qualidade da água e habitats terrestres e aquáticos (PHILLIPS *et al.*, 2000).

Para proteção dos cursos d'água, se estabelecem faixas de proteção nas áreas ribeirinhas (Wenger & Fowler, 2000); Belt *et al* (1992), consideram que as faixas de proteção contribuem significativamente na manutenção de habitats aquáticos e ribeirinhos e controle da poluição. Não há uma definição clara das faixas de proteção, mas pode-se dizer que são áreas frequentemente de limites indefinidos, adjacentes aos cursos de água, que servem para mitigar os impactos gerados pelas atividades nas margens (NUTTER e GASKIN, 1988). Por sua reconhecida fragilidade biológica e física, a gestão e usos de tais áreas são restringidos por regulamentos ou instruções normativas.

De acordo com Gayoso e Gayoso (2003) a maioria das recomendações para largura mínima de faixas de proteção variam entre 7 e 15 m, a partir da máxima cheia do corpo de água. Contudo, a comparação entre as diferentes legislações permite compreender os fatores que incidem na adoção de tais dimensões espaciais para a proteção dos corpos de água. Essas normas geralmente estão associadas a regulações de águas e, por conseguinte, não só afetam o setor florestal mas também o agrícola e o desenvolvimento urbano. A Tabela 4.3 apresenta uma compilação sobre os critérios anteriormente mencionados.

Tabela 4.4 – Delimitação e zoneamento dos cursos de água e suas faixas de proteção.

(Continua)

Local	Largura mínima
Bogotá, D.C. (Colômbia)	Até 30 m de largura
Chile	400 m para os mananciais que nascem nos cerros e 200m para os demais cursos d'água
Alpharetta (Estados Unidos)	Cursos permanentes: flexível, mínimo pontual 15m, mas com largura média de 30 m. Cursos intermitentes e efêmeros: não se aplica
Fulton – MRPA (Estados Unidos)	Cursos principais: 15m Tributários: 7,5 a 10,5m
Condado Fulton (Estados Unidos)	Largura mínima para cursos principais: 22,5m
Wisconsin (Estados Unidos)	Lagos e cursos navegáveis: 30m Cursos interiores: 10,5 m
Carolina do Norte (Estados Unidos)	Aplica-se aos cursos d'água perenes e intermitentes com área mínima de drenagem de 20ha. Largura total da Zona de Manejo: 15m (4,5m reserva e 10,5m onde se pode reduzir cobertura vegetal a 50%)
Carolina do Sul (Estados Unidos)	Rios principais: 30m Tributários: 15m
Maryland (Estados Unidos)	Para ordem 3 ou superior: 30m Ordens 1 e 2: 15m Se a declividade do Vale é maior de 15% se duplicam os valores
Louisiana (Estados Unidos)	Perene, curso maior que 6m de largura: 30m Perene, curso menor que 6m de largura: 15m Intermitentes: 10,5m
Idaho (Estados Unidos)	Cursos Tipo I (abastecimento de água para consumo humano ou para proteger locais de criação ou migração de peixes): 22,5m Tipo II(cursos d'água sem peixes): 1,5 m
Washington Oeste (Estados Unidos)	Tipo I e II curso de largura maior que 23m (peixes e uso humano): 30m Tipo I e II curso de largura menor que 23m (peixes e uso humano): 23m Tipo III curso de largura maior que 1,5m de largura: 15m Tipo IV e V (cursos intermitentes menores que 1,5m): 7,5m
Califórnia (Estados Unidos)	Tipo I (uso doméstico e presença de peixes): 22,5 a 45m Tipo II (presença de peixes): 15 a 30m, variável segundo o grau de declividade do terreno adjacente. Tipo III e IV (sem vida aquática presente): se determina por inspeção de campo.
Oregon - até 1994 (Estados Unidos)	Tipo I: 7,5 a 30m, variável segundo três vezes a largura do curso d'água Tipo II: nenhuma
Montana (Estados Unidos)	Tipo 1 e 2: 15 a 30 m segundo se ultrapassa ou não uma declividade lateral de 35% Tipo 3 (intermitentes): 15 m sem importar a declividade do terreno adjacente.

Tabela 4.3 – Delimitação e zoneamento dos cursos e suas zonas de manejo. (Conclusão)

Local	Largura mínima
Oregon - desde 1997 (Estados Unidos)	Tipo F: 30 m (grande), 21 m (mediano), 15 m (pequeno) Tipo D: 21 m (grande), 15 m (mediano), 6 m (pequeno) Tipo N: 21 m (grande), 15 m (mediano), 0 m (pequeno) Tipo F e D é correspondente a Classe I (peixes e uso doméstico) Tipo N é correspondente a Classe II (sem peixes e uso não doméstico) Nota: segundo o uso, as correntes de água se classificam assim: F: peixes D: doméstico mas com ausência de peixes N: todos os cursos d'água.
Finlândia	20 a 30 m, sem outros detalhes.
Alemanha	Depende do tamanho da área de proteção e restrições de manejo, específica a cada local.
Tasmânia (Indonésia)	Tipo 1 (uso doméstico e peixes): 40 m (reserva) Tipo 2 (mais de 100 ha de drenagem): 30 m Tipo 3 (entre 50 e 100 ha de drenagem): 20 m Tipo 4 (intermitentes): não existe zona de reserva, porém se limita o trânsito de maquinaria uma faixa de 10 m de cada lado do curso.
Austrália	Ordens 1 a 3: mínimo 20 m Ordem 4: mínimo 50 m Ordem 5 e superiores: mínimo 100 m
British Columbia, (Canadá)	S1, largura do curso > 20 m: zona reserva = 50 m, Zona de manejo da vazão - ZMC = 70 m S2, largura entre 5 e 20 m: zona reserva = 30 m, ZMC = 50 m S3, largura entre 1,5 e 5 m: zona reserva = 20 m, ZMC = 40 m S4, largura menor de 1,5 m: zona reserva = 0 m, ZMC = 30 m S5, largura maior de 3 m: zona reserva = 0 m, ZMC = 30 m S6, largura menor de 3 m: zona reserva = 0 m, ZMC = 20 m
Nova Escócia, (Canadá)	Todos os cursos d'água marcados no mapa 1:50000 devem ter uma faixa de proteção de 20 m a cada lado. Além disso, a largura se incrementará em 1 metro por cada 2% de inclinação que exceda a 20% até 60%.

Fonte: Adaptado e complementado de Gayoso e Gayoso, 2003

A análise da tabela anterior permite observar que não há consenso na definição da largura das faixas de proteção dos cursos de água sendo estas fundamentais para a estabilidade dos ecossistemas, considerando em alguns casos como reserva ecológica florestal e de proteção.

Elas abrangem áreas inundáveis, e tem a função de amortecimento, dinamizar e proteger o equilíbrio do curso de água, as quais não deveriam ser afetadas pelo desenvolvimento urbano.

Algumas delas apresentam uma problemática relacionada com invasão, perda das condições bióticas e abióticas, desenvolvimento irregular de moradias entre outros, ressaltando que tal

problemática é resultante da falta de fiscalização do cumprimento das normas vigente por parte das diferentes autoridades locais pertinentes.

Com relação ao caso Colombiano, pode-se dizer que a legislação estabelece que a faixa hidráulica é constituída pela faixa paralela aos corpos de água, medida a partir da linha de inundação máxima, considerando até 30 metros de comprimento destinada principalmente ao manejo hidráulico e a restauração ecológica conforme o Plano de Ordenamento Territorial.

No tocante ao Plano de Ordenamento Territorial, pode-se definir como um instrumento estabelecido e promulgado mediante a Lei 388 de 1997, considerado como complemento do planejamento econômico, ambiental e social das cidades e municípios, acolhendo benefícios e o manejo das restrições através de um processo de coordenação de interesses entre as partes interessadas. Estabelece assim objetivos, estratégias, e políticas que definem ações traçadas para regular a intervenção no território, em curto, médio e longo prazo.

Outras áreas denominadas de Manejo e Preservação Ambiental (ZMPA): são as faixas de terreno de propriedade pública ou privada contigua à faixa hidráulica, destinada principalmente a propiciar adequadamente a transição da cidade construída na estrutura ecológica, a intervenção e a construção de infraestrutura de drenagem urbana ligado a controle e proteção do sistema hídrico conforme ao Plano de Ordenamento Territorial.

No caso Brasileiro, pode-se considerar a legislação ambiental como uma das mais avançadas do mundo. Seu desenvolvimento tem sido crescente de acordo com a importância que a preservação do meio ambiente vem ganhando, e um dos seus principais pilares é o Código Florestal, que foi criado em 1934 e editado em 1965. Desde sua criação até então recebeu algumas atualizações, mas não uma reformulação completa, sendo bastante polemico e debatido e, em alguns casos pouco compreendido. Levando em consideração que a situação ambiental de anos atrás é completamente diferente da que se tem hoje e o fato de que ajustes são necessários no código tornou-se clara a necessidade de uma reforma no mesmo, como será descrito.

O Código Florestal é o responsável por determinar e estabelecer parâmetros e limites em áreas de preservação e de manter uma parte da vegetação nativa no interior das propriedades rurais, as áreas de preservação permanente (APPs) e reservas legais (RL). Além disso, determina o tipo de compensação que deve ser feito por setores que usem matérias-primas, como

reflorestamento, assim como as penas para responsáveis por desmate e outros crimes ambientais relacionados.

São definidas áreas protegidas, cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas (Brasil, 2012). Na atualidade, é definida uma faixa cuja largura mínima é: i) 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura; ii). 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura; iii) 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura; iv). 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura; V). 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros.

De acordo com Petry (2013) a partir da década de 1990 vêm sendo intensificadas as tentativas para flexibilizar o Código Florestal Brasileiro. O projeto do novo Código Florestal, que esteve em discussão no Congresso desde 1999, foi aprovado em maio de 2011 na Câmara dos Deputados e em dezembro no Senado Federal. Considerando que o texto sofreu modificações no Senado, o plenário da Câmara voltou a apreciá-lo em abril de 2012. Em 25 de maio, o texto foi sancionado, por parte da Presidência da República, vetando 12 pontos da lei e propondo a alteração de 32 outros artigos, gerando assim polêmicas entre ruralistas e ambientalistas.

As principais características desta última versão do Código estão relacionadas à flexibilização das leis de preservação ambiental, aproximando-a ainda mais dos interesses ruralistas. As mudanças contempladas são: i). não há obrigatoriedade de recomposição de 30 metros de mata ao redor de olhos d'água nas áreas de preservação permanente (APPs) ocupadas por atividades rurais, consolidadas até 22 de julho de 2008; ii) sem obrigatoriedade de recompor a vegetação nativa em propriedades de agricultura familiar e naquelas áreas privadas que tenham entre quatro e 500 hectares em torno de rios com largura maior que 10 metros; iii) possibilidade de o Poder Público reduzir a reserva legal para até 50% em áreas de floresta na Amazônia Legal. Isso poderá acontecer nos casos em que a propriedade rural estiver situada em estado com mais de 65% do território já ocupado por unidades de

conservação públicas ou terras indígenas e iv)recomposição de uma faixa mínima de 15 metros de vegetação nas margens dos rios com até 10 metros de largura. (BELFORT, 2012)

Conforme as diversas críticas e questionamentos feitos ao texto por parte de setores políticos, ambientais e acadêmicos afirmam que as mudanças no Código abrem brechas para aumentar o desmatamento e pôr em risco serviços ambientais básicos.

Nesse sentido para os representantes ruralistas, o Código Florestal em vigor atrapalha o desenvolvimento do país, considerando que ele foi criado em um momento em que a atividade agrícola e pecuária apresentava baixa produtividade, sendo necessária a alteração já que é preciso mais terra para ampliar a produção. Sem tais mudanças não conseguirão suprir a crescente demanda de alimentos e o setor agropecuário brasileiro ficaria em desvantagem no cenário mundial. No caso para os ambientalistas, as terras já exploradas são suficientes para dobrar a produção, sendo suficiente para aprimorar a eficiência nas lavouras e nos pastos por meio de utilização de tecnologia e uso sustentável no desenvolvimento das atividades agrícolas e pecuárias.

As regulamentações tanto para o caso colombiano como no caso brasileiro, foram e parecem ser sujeitas a uma série de debates e polêmicas por parte governamental, ambientalistas, ruralistas e sociedade pelas diferentes modificações em várias partes onde não fica claro os limites a partir dos quais as faixas devem ser medidas e implantadas, entre outros temas, como a utilização e organização do uso de solo, diminuição das áreas de preservação permanente, etc.

4.5 Utilização de indicadores

A metodologia desenvolvida nesta pesquisa para priorização de intervenções em cursos d'água foi baseada na escolha e proposição de indicadores como ferramenta de apoio e subsídio a tomada de decisão.

Na realidade, indicadores representam uma medida, ou uma forma de materializar a comparação de critérios. A palavra indicador deriva do Latim *indicare*, que significa destacar ou revelar algo.

Os indicadores são instrumentos de auxílio a decisão que têm a finalidade de prover informações a respeito do problema permitindo assim novos conhecimentos. Contribuem, portanto, para a realização de previsões e para a orientação de políticas específicas e temporais de ações públicas (BATISTA *et al.* 2005).

Ainda, conforme Adriaanse (1993), os indicadores são elaborados para ajudar os pesquisadores, gestores e pessoas em geral a simplificar, quantificar, analisar e comunicar uma informação aos diferentes níveis da sociedade sobre fenômenos complexos.

De acordo com Magalhães (2004), dentre as funções que os indicadores podem desempenhar estão: i) prover informações sobre os problemas enfocados; ii) subsidiar o desenvolvimento de políticas e estabelecimento de prioridades, identificando fatores chave; iii) contribuir para o acompanhamento das ações definidas e iv) ser uma ferramenta de difusão de informações em todos os níveis.

Em síntese, um bom indicador é aquele que deve ter um valor mensurável ou observável, estes devem estar disponíveis ou ser obtidos por meio de medidas, cálculos ou monitoramento, seus custos razoáveis e serem aceitáveis na escala do estudo (MOLDAN e BILHARZ, 1997 *apud* CASTRO, 2007).

Algumas definições para o termo indicador podem ser citadas como mais utilizadas, dentro da comunidade científica, e são apresentadas na Tabela 4.4.

Tabela 4.5 – Termos e conceitos referentes a indicador de acordo com diversos autores.

Definição	Autor
Formas de representação quantificáveis dos componentes de um sistema, que podem ser observados e utilizados para informar quanto à situação desse sistema e suas possíveis alterações.	Caro <i>et al</i> (1995)
Uma variável, um parâmetro, uma medida estatística, um valor, um instrumento de medição, um índice ou até uma fração em que é comparada uma quantidade com um valor medido ou calculado cientificamente. Além de ter como característica principal resumir ou simplificar informações, quantificando dados tornando determinados fenômenos compreensíveis para todos.	Moldan e Bilharz (1997) <i>apud</i> Castro (2007)
Os indicadores tem como função indicar soluções e decisões apropriadas, permitindo a associação entre valores, objetivos e decisões.	Kolsky e Butler (2002)
Componentes essenciais em processos de tomada de decisão envolvendo múltiplos critérios, permitindo agregar informações consideradas relevantes pelos decisores e pela comunidade.	Castro <i>et al.</i> (2004)
Medida geralmente quantitativa dotada de significado substantivo, os quais são usados para substituir, quantificar e operacionalizar um conceito abstrato de interesse teórico ou pragmático. Além disso é um instrumento operacional para monitoramento da realidade para fins de formulação e avaliação de políticas públicas.	Januzzi (2004)
Abstrações ou parâmetros representativos, concisos, fáceis de interpretar e de serem obtidos, que visam ilustrar as características principais de determinado objeto de análise.	Magalhães (2004)
Parâmetro ou um valor derivado de um parâmetro, que permite caracterizar uma ação, ou seu estado, em diferentes períodos. O indicador simplifica a informação proveniente de fenômenos complexos, quantificando-a de maneira significativa, à escala desejada.	Moura (2004)
Medidas que expressam ou quantificam um insumo, um resultado, uma característica ou o desempenho de um processo, serviço, produto ou organização.	Rua (2004)
Medida, ou uma forma de materializar a comparação de critérios em termos numéricos.	Brito (2006)
Medida, de ordem quantitativa ou qualitativa, dotada de significado particular e utilizada para organizar e captar as informações relevantes dos elementos que compõem o objeto da observação. É um recurso metodológico que informa empiricamente sobre a evolução do aspecto observado.	Ferreira <i>et al.</i> (2009)

Levando em consideração a utilização de indicadores nesta pesquisa que visa possibilitar a priorização de intervenções em cursos d'água, são apresentados, complementados a partir de Castro (2007), alguns estudos realizados com utilização de indicadores que servem como suporte à proposição de indicadores, relacionados aos recursos hídricos e à hidrologia urbana, tais como:

- Azzout (1996) propôs indicadores e metodologia para a escolha de técnicas de drenagem alternativas e arranjos possíveis de serem aplicados para uma área de projeto em função de objetivos e interesses dos decisores e das características técnicas da área, como tipo de solo, da bacia hidrográfica e precipitação. A metodologia foi aplicada em estudo de caso na região de Bordeaux, na França, com o apoio do método multicritério Electre III.
- OFWAT e EA (2001) propuseram indicadores para a avaliação dos sistemas de esgotamento sanitário e drenagem urbana no Reino Unido com vistas a aspectos ambientais e de atendimento a consumidores. Os indicadores foram divididos em função de serem relacionados com infraestrutura ou não, considerando, no primeiro caso, os sistemas de drenagem e coletores de esgotos e, no segundo, as estações de bombeamento, tratamento de efluentes e disposição de lodo.
- Kolsky e Butler (2002) apresentaram possíveis indicadores e discutiram perspectivas conceituais e práticas no desenvolvimento de indicadores para avaliação do desempenho de sistemas de drenagem urbana.
- Geerse e Lobbrecht (2002) apresentaram os indicadores propostos e aplicados para avaliação do sistema de saneamento e drenagem da cidade de Roterdã, na Holanda. Os indicadores foram divididos em função do período seco ou do período chuvoso.
- Kondratyev *et al.* (2002) aplicaram indicadores propostos pela Comissão de Desenvolvimento Sustentável da ONU (CSD, 1995) para avaliar a situação do lago Ladoga, o qual é responsável pelo abastecimento da cidade de São Petersburgo na Rússia, além do recebimento de suas águas de esgotamento sanitário e pluvial.
- Castro (2002) propôs indicadores para a avaliação de sistemas de drenagem urbana, considerando o objetivo principal da obra, bem como aspectos sociais, ambientais e

sanitários. Os indicadores foram agregados por meio de métodos multicritério e aplicados em dois estudos de caso no Brasil e um na França para a seleção de alternativas de projeto

- Matos *et al.* (2003) apresentaram 182 indicadores propostos pela IWA – International Water Association - para avaliação do desempenho dos sistemas de saneamento e drenagem urbana. Os indicadores propostos foram quanto aos aspectos financeiros (45), de qualidade do serviço (29), físicos (12), ambientais (15), operacionais (56) e relacionados ao trabalho dos funcionários (25) das empresas responsáveis pelos sistemas municipais de saneamento e drenagem.
- Dechesne *et al.* (2004) propuseram indicadores de contexto e de desempenho para avaliar sua situação quanto a efeitos de colmatção e poluição do solo para bacias de infiltração. Os indicadores foram divididos em função do desempenho hidráulico e de retenção de poluentes.
- Moura (2004) desenvolveu uma metodologia de auxílio à decisão baseada em análise multicritério, integrando tanto os indicadores de desempenho como os de custos para a avaliação de sistemas de drenagem urbana e a integração destes indicadores com indicadores de desempenho.
- Baptista *et al.*, (2005) apresentaram uma metodologia simples de ajuda para tomada de decisão e um software associado (AvDren), relativa aos sistemas de águas pluviais urbanas, dedicados à avaliação e comparação de cenários de drenagem utilizando técnicas compensatórias. A metodologia foi baseada em aspectos técnicos, ambientais, sanitários, sociais e econômicos, possibilitando uma comparação das alternativas possíveis e ajuda aos tomadores de decisão para seleção das alternativas adequadas e o planejamento dos investimentos, especialmente para países em desenvolvimento, os quais apresentam problemas sanitários e restrições orçamentárias.
- Taylor (2005) apresentou metodologia baseada em indicadores financeiros, sociais e ambientais criados para a avaliação de projetos pelos órgãos responsáveis pelos sistemas de drenagem para a escolha de projetos a serem financiados na Austrália.

- Martin *et al.* (2006) apresentaram metodologia para a avaliação do desempenho de técnicas compensatórias de drenagem urbana baseada em indicadores técnicos, hidráulicos, ambientais, sociológicos, de planejamento, econômicos e de operação e manutenção. Seus indicadores foram de análise subjetiva.
- Castro (2007) apresentou uma metodologia para a avaliação de alterações provocadas pelo desenvolvimento urbano nos corpos de água em sua área de influência e a verificação da viabilidade de sua aplicação para subsidiar a decisão dos órgãos gestores quanto à concessão da autorização. A metodologia foi baseada em indicadores, que traduziam os efeitos mais relevantes da urbanização, agregados por meio dos métodos de análise multicritério TOPSIS e Electre TRI.
- Moura (2008) desenvolveu uma metodologia multicritério para quantificar os desempenhos de sistemas de infiltração de águas pluviais em fase de concepção e de acompanhamento é proposta integrando aspectos (técnicos, ambientais, sanitários, econômicos e sociais), mediante utilização de indicadores de desempenho

Igualmente outros estudos foram desenvolvidos com a utilização de indicadores tais como Cardoso (2008 e 2012), Santos (2010), Evangelista (2011), Aguiar (2012), os quais serão detalhados no próximo item considerando que estes são relacionados com restauração de cursos de água e no caso de Aguiar (2012) é relacionado com o tema de priorização.

Nesse contexto Castro (2002), afirma que os usuários dos indicadores podem variar socialmente, geograficamente ou culturalmente, dependendo da escala do empreendimento em estudo, fazendo com que eles sejam apropriados, aceitáveis e conclusivos aos olhos da comunidade envolvida e afetada pelo empreendimento.

Concluindo, os indicadores proporcionam uma informação oportuna, precisa e confiável na hora de toma de decisões, já que podem ser considerados como uma ferramenta importante científica e tecnicamente por facilitar o acesso a informação aos diferentes grupos da sociedade permitindo transformar e estabelecer metas precisas de ações futuras a fim de ser avaliadas pelos entes responsáveis.

4.6 Indicadores relativos à restauração de cursos de água

Segundo Baptista *et al.* (2012) a “*utilização de indicadores para avaliação de alternativas de intervenção em cursos d’água visa facilitar os processos de tomada de decisão no tocante a seleção da solução mais compatível como os objetivos da intervenção e com a realidade construída no espaço, à luz das premissas de restauração*”.

Cardoso (2008) propõe indicadores de avaliação de impactos que englobam os parâmetros possíveis de comparação entre as diversas técnicas de intervenção em corpos d’água, propondo categorias de impacto e os respectivos indicadores procurando abarcar o maior número possível de condições e aspectos impactados na intervenção em cursos d’água. Os impactos definidos foram: i) Hidrológico / Hidráulico, ii) Sanitários, iii) Ambientais e iv) Sociais. A partir da definição dos impactos foram propostos os indicadores propriamente ditos pertencentes a cada um deles: i) Inundação no local e Vazões de jusante, ii) Proliferação de insetos, iii) Erosão e assoreamento, Habitats, Paisagem e Áreas verdes, iv) Remoção da população, valorização financeira da área e áreas e equipamentos urbanos e de lazer.

Macedo (2009) avaliou a efetividade, de maneira quantitativa e qualitativa, dos resultados do projeto de restauração do córrego Baleares, em Belo Horizonte. Utilizando ferramentas de avaliação tais como: (i) monitoramento da qualidade hídrica (parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos); (ii) biomonitoramento com macro invertebrados bentônicos; e (iii) survey com a população inserida na bacia hidrográfica. De acordo com a pesquisa as ferramentas (i) e (ii) foram avaliadas em três momentos distintos: pré-restauração, durante a intervenção e pós-restauração. Dentre os resultados obtidos se teve uma melhoria significativa nos parâmetros avaliados entre as fases de pré-restauração e pós-restauração, o monitoramento de qualidade assim como o biomonitoramento indicaram uma tendência de melhora nos ambientes fluviais, e o survey mostrou que os resultados da intervenção foram bem aceitos pela população, trazendo boas perspectivas em relação à implantação de projetos nestes moldes em outras bacias urbanas.

Santos (2010) aplicou a “Teoria Tridimensional do Dano¹” a cursos d’água com suas dimensões física, funcional e situacional, através de indicadores qualitativos para a avaliação

¹ De acordo com Magalhães (1998) a Teoria serve para a avaliação de danos corporais causados por acidentes, nesse sentido “*um dano corporal é um prejuízo sofrido por alguém no conjunto das dimensões que são o organismo, suas funções, o plano intra-psíquico e o meio no qual o indivíduo se insere*”.

das alterações em cursos d'água, fazendo uma proposta de avaliação sem obrigatoriedade de análises físico-químicas, permitindo assim que a maior parte dos indicadores pudesse ser avaliada visualmente ou através de percepção em levantamentos de campo, cartografia e fotografias aéreas, possibilitando assim que a aplicação da metodologia fosse rápida e de baixo custo.

Evangelista (2011) propôs uma sistemática de avaliação de alternativas de intervenção em cursos d'água urbanos por meio de indicadores de desempenho e custos, utilizando metodologias de análise multicritério, baseada em uma avaliação do tipo desempenho - custo, compreendendo técnicas tradicionais e técnicas mais integradas ambientalmente. O trabalho estabeleceu indicadores de desempenho abrangendo as dimensões ambiental, sanitária, hidrológica e hidráulica, e indicadores de custo de implantação, de operação e manutenção.

Cardoso (2012) desenvolveu uma metodologia voltada para a orientação de processo de intervenção em cursos d'água urbanos, considerando as etapas de concepção, análise, comparação e seleção de alternativas, tendo como base o estado de degradação dos sistemas fluviais e as condições urbanas da sua área de inserção, assim como aspectos relacionados ao desempenho, impacto e custos das soluções.

Nesse sentido, considerando que os estudos anteriormente citados dentro das metodologias propostas utilizaram indicadores como ferramenta de auxílio a decisão e obtiveram resultados favoráveis em diferentes contextos, focados na restauração de cursos de água, estes serviram de embasamento para a escolha dos indicadores utilizados no presente trabalho. sendo que alguns deles foram modificados e adequados dentro da metodologia proposta com vistas a priorização de intervenções em cursos de água.

4.7 Indicadores relativos a priorização

Priorizar ou priorização pode ser definido como colocar várias alternativas em ordem de importância, valor ou desejo. A palavra prioridade deriva do Latim *prioritate*, que significa que está mais adiante (em referência a duas pessoas ou a duas coisas); o primeiro de dois, precedente, anterior e, apontando o seu sentido figurado, superior, mais notável. Em diversos domínios científicos indicadores de priorização são utilizados há algum tempo, por exemplo na área médica, com a priorização de nomes para listas de espera de órgãos para transplante.

Comas *et al.* (2008) realizaram uma proposta cujo objetivo principal foi traçar os métodos usados para construir um modelo de simulação para uso na tomada de decisão no contexto de estratégias de lista de espera para cirurgia de catarata comparando um sistema de priorização de lista de espera com o utilizado rotineiramente primeiro a entrar, primeiro a sair. First-in, First-out (FIFO). A metodologia foi desenvolvida no cenário do sistema de saúde espanhol.

Outro exemplo relacionado com a área médica é o desenvolvimento de critérios de priorização de equipamentos em hospitais norte-americanos. Autores como Hertz (1990), Anderson (1992), Kendall *et al.* (1993), Gullikson (1995), Capuano & Koritko (1996), Wang, & Levenson (2000), há alguns anos vêm se dedicando ao estudo e pesquisa desta área. Um dos primeiros métodos publicados, e o mais citado na literatura é o de Fennigkoh & Smith (1989), que é baseado em atribuir valores quantitativos a três critérios: risco físico oferecido pelo equipamento ao paciente e/ou operador (morte, terapia inadequada, dano irreversível, etc.); requerimento de manutenção (mensal, trimestral, semestral, anual, etc.); e função do equipamento (diagnóstico, terapia, suporte à vida ou monitorização). Ponderando esses critérios é estabelecido um valor numérico para o equipamento.

Nesse contexto vários critérios de utilização de indicadores de priorização podem ser encontrados na área financeira e em textos de relatórios de estudos e projetos para intervenções em saneamento básico e priorização de investimentos públicos. Baseados principalmente em critérios ambientais, financeiros, sociais e epidemiológicos.

Januzzi e Nery (1996), propuseram a construção de um indicador multicritério de Déficit Social, com o objetivo de permitir a priorização de programas sociais, segundo os critérios descritos por gestores, mediante o uso do método Promethée II de apoio multicritério à decisão, na identificação de públicos-alvo de programas sociais. Os resultados foram obtidos mediante o aplicativo PRADIN (Programa de Apoio à Tomada de Decisão baseada em Indicadores), conseguindo apresentar um exemplo de indicador de déficit social que pode ser utilizado pelos agentes decisores (gestores) no ciclo das políticas públicas.

Outro trabalho de pesquisa é de Teixeira e Heller (2001), que desenvolveram um modelo de priorização de investimentos em projetos de saneamento, segundo critérios epidemiológicos, sanitários, financeiros e sócioambiental. Foram selecionados 36 projetos, de uma listagem de 506 investimentos fornecidos pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA

MG. A partir dos resultados obtidos, o modelo desenvolvido configura-se satisfatório para a priorização de investimentos no setor de saneamento, em especial quando se trata de elevada quantidade de projetos.

Posteriormente, Teixeira e Heller (2003) apresentaram um modelo mais simples de priorização de investimentos em saneamento, com ênfase em indicadores de saúde, construídos a partir de uma combinação entre métodos de análise epidemiológica e financeira.

Finalmente, Neves e Neves (2003) desenvolveram um procedimento metodológico para a seleção ou hierarquização de projetos de saneamento. O foco para a seleção de projetos é a condição de saúde da população a ser beneficiada. A metodologia é baseada no campo da análise custo - eficácia, baseando-se na relação entre benefícios, medidos através de um indicador, e o custo medido monetariamente, sugerindo um indicador denominado DALY – Disability Adjusted Life - Years, desenvolvido para a área de saúde pública.

Continuando nesta abordagem na área de saneamento, Ribeiro (2011), propôs um método multicritério de apoio à decisão para hierarquizar projetos de abastecimento de água e esgotamento sanitário. O modelo de priorização proposto foi aplicado no contexto de hierarquia de projetos nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá e teve a função de estruturar o processo de decisão em que foram definidos os elementos intervenientes, alternativas potenciais, critérios, problemática, escolha dos métodos multicritérios, softwares, modelagem de preferência, sistemas de apoio à decisão (D-SIGHT e ELECTRE III-IV); avaliação de resultados e análise de sensibilidade, levando em consideração que a pesquisa tivesse caráter operacional.

Outro exemplo a ser apresentado é do município de Belo Horizonte com o desenvolvimento do Plano Municipal de Saneamento PMS, mediante uma metodologia capaz de diagnosticar satisfatoriamente o quadro do saneamento ambiental na cidade e a implementação de ações com o objetivo de buscar soluções graduais e globais para as carências destes serviços. Por isso a metodologia utilizada nas diferentes etapas inclui tanto a tomada de decisões quanto o desenvolvimento de trabalhos específicos e interdisciplinares. Nesse contexto foram formulados indicadores e índices setoriais que compuseram o Índice de Salubridade Ambiental de Belo Horizonte – ISA, que quantifica a cobertura por serviços de saneamento nas diferentes unidades territoriais. De acordo com Belo Horizonte (2010), o ISA foi

construído a partir do somatório ponderado de índices setoriais referentes a cinco aspectos identificados dentro do componente ambiental: abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos, drenagem urbana e controle de vetores. E dessa forma estabeleceu uma análise comparativa entre as 98 bacias elementares e entre as 256 sub-bacias que compõem o território municipal.

O software CARE-W (Computer Aided Rehabilitation of Water Networks), compreende um conjunto de ferramentas para planejamento de reabilitação das redes de distribuição de água. Ele tem como objetivo garantir a segurança do abastecimento de água, atendendo a critérios sociais, de saúde, econômicos e ambientais. O software consiste em lidar com instrumentos fundamentais para estimar a condição atual e futura das redes de água, indicadores de desempenho, para previsão de falhas na rede e cálculo da confiabilidade do fornecimento de água. Além disso, inclui rotinas para estimar investimentos de longo prazo e a seleção e classificação de projetos de reabilitação. O projeto CARE-W visa desenvolver métodos e software que permita aos engenheiros de empresas de água, estabelecer e manter um gerenciamento eficaz de suas redes de abastecimento de água, reabilitação de dutos no momento certo. Os resultados foram divulgados como um manual de Boas Práticas de Gestão) para a reabilitação da rede de água (BAPTISTA e ALEGRE, 2005)

Outro software é o CARE-S (Computer Aided Rehabilitation of Sewer Networks) que é composto por um conjunto de ferramentas, que fornece o sistema mais rentável de manutenção, reparação e reabilitação de redes de esgoto, com o objetivo de garantir a segurança de coleta de esgoto sanitário e drenagem de águas pluviais, a fim de atender aspectos tais como saúde, social, econômico e exigências ambientais. Isso tem sido feito dentro do contexto de gestão integrada e de captação, com objetivo estratégico de garantir a segurança dos recursos hídricos. O projeto CARE-S é financiado pela Comunidade Europeia e visa o desenvolvimento de métodos e softwares que permitirão engenheiros de empresas de águas residuais estabelecer e manter uma gestão eficaz do seu esgoto e redes de águas pluviais, reabilitar as redes de esgotos corretas, na hora certa, igualmente é realizado o desenvolvimento de procedimentos de análise multicritério de apoio à decisão na gestão de reabilitação. O produto final foi um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) que permita que os engenheiros municipais possam estabelecer e manter um gerenciamento eficaz de suas redes de esgoto (MATOS, *et al*, 2003).

Vellidis *et al.* (2003) afirmam que em um clima de recursos limitados, muitas vezes é necessário priorizar os esforços de restauração de cursos de água geograficamente, por isso propõem uma abordagem através uma ferramenta geográfica para priorização e proteção das zonas úmidas. Os autores desenvolveram um modelo conceitual para bacias priorizando as áreas úmidas a ser restauradas para assim reduzir a produção de sedimentos total na saída da bacia. O modelo conceitual foi projetado para classificar as bacias hidrográficas.

Aguiar (2012) propôs diretrizes para a implantação de planos de gestão patrimonial de redes de drenagem urbana. Nesse contexto uma das etapas desenvolvidas foi a elaboração de uma escala de prioridade para o planejamento de intervenções sendo elas emergenciais ou de rotina. Foi utilizado um método de auxílio à decisão para hierarquizar tais ações, de forma a identificar os trechos prioritários em função do estado de conservação das estruturas, utilizando indicadores de risco de impactos aos usuários. A metodologia proposta trabalha com quatro níveis de impactos e a estes níveis atribuem-se pesos que variam de 0 a 3, sendo a tomada de decisão baseada em dois indicadores, um relaciona às ações de rotina e outro à ações emergenciais.

Para o caso de priorização de intervenções em cursos de água de acordo Brierley *et al* (2002) a proposta australiana River Styles framework, consistiu na proposição de uma metodologia baseada em processos geomorfológicos, visando a auxiliar no processo decisório sobre intervenções em cursos de água, analisando o estado de degradação e possível evolução ao longo do espaço e tempo. A metodologia foi desenvolvida levando em consideração as etapas de classificação do curso de água de acordo com as tipologias definidas conforme com as condições da bacia hidrográfica, avaliação das condições geomorfológicas e estado de degradação do curso de água, identificação de cada trecho em estudo na rede de drenagem da bacia hidrográfica, avaliação da capacidade de ajuste do curso de água com relação ao vale onde se insere, avaliação do potencial de restauração e proposição de alternativas de intervenção. Igualmente a metodologia proporcionou uma base unificada sobre uma variedade de informações e aplicações de gestão das bacias hidrográficas, proporcionando assim um quadro coerente para as decisões de gestão dos recursos hídricos.

De acordo com a metodologia proposta os cursos de água com maior potencial de restauração deve ser objeto de priorização de intervenção levando em considerando aspectos biofísicos, assim como a identificação das características geomorfológicas, a avaliação dos padrões de

vegetação ciliar e disponibilidade de habitat ao longo dos cursos de água, que são relevantes para as necessidades destes.

Concluindo esta fase da revisão de literatura, deve-se ressaltar que, especificamente para o caso de priorização de intervenções em trechos de cursos de água, foram escassos os exemplos encontrados na literatura, indicando a necessidade de pesquisas na área.

4.8 Metodologias de análise para a avaliação da priorização e tomada de decisões

As decisões são tomadas quando se escolhe realizar ou deixar de fazer algo e fazem parte de situações diversas, sejam no âmbito local, regional ou nacional. Geralmente, essas decisões estão relacionadas com planos de crescimento, políticas de desenvolvimento regional, execução de estratégias e inúmeros outros fatores (ROY, 1996).

Assim, pode-se definir a tomada de decisão como um esforço para resolver o dilema dos objetivos conflitantes, cuja presença impede a existência da solução ótima e conduz para a procura da solução de melhor acordo. Nota-se, portanto, que a complexidade da tomada de decisão requer um tratamento qualificado e justifica a utilização de métodos de apoio à decisão (SCHMIDT, 1995).

A tomada de decisão, por conseguinte, deve buscar a opção que apresente o melhor desempenho, a melhor avaliação, ou ainda, o melhor acordo entre as expectativas do decisor e as suas disponibilidades em adotá-la, considerando a relação entre elementos objetivos e subjetivos (SOARES, 2003).

No caso da hierarquização dos trechos de cursos de água para intervenção, esta deve levar em consideração não somente critérios técnicos, mas incluir critérios sociais e ambientais. Para esse tipo de avaliação destacam-se, dentre outros, os Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão – MMAD, que são o objeto de análise deste trabalho.

Os modelos de tomadas de decisões através de múltiplos critérios são indicados para problemas onde existam vários critérios de avaliação, normalmente critérios conflitantes. (MOUSSEAU, 1995 *apud* GOMES *et al.*, 2002). Segundo GOMES *et al.* (2002), o Apoio Multicritério à Decisão - AMD ou Análise Multicritério consiste em um conjunto de técnicas para auxiliar um agente decisor – indivíduo, grupo de pessoas ou comitê de técnicos ou

dirigentes – a tomar decisões acerca de um problema complexo, avaliando e escolhendo alternativas para solucioná-lo segundo diferentes critérios e pontos de vista.

De acordo com Magrini (1992) *apud* Berrêdo (2010), a análise multicritério se fundamenta nos conceitos e métodos desenvolvidos no âmbito de diferentes disciplinas, como a economia, a pesquisa operacional, a teoria da organização e a teoria social das decisões. A análise multicritério tem se desenvolvido intensamente, sendo mais aplicada a problemas de tomada de decisão de diversas naturezas que implicam pontos de vista diferentes e, ao mesmo tempo, contraditórios.

Vincke (1992), afirma que o Apoio à Decisão Multicritério apresenta duas linhas de pensamentos principais: a escola francesa (MCDA – Multiple Criteria Decision - Aid) e a escola Americana (MCDM – Multiple Criteria Decision Making), cujo objetivo básico era gerar conhecimentos aos decisores, através de ferramentas (modelos) baseados em seus sistemas de valor (CRISTOFOLINI, 1998).

Nesse sentido Vincke (1992) divide os modelos de auxílio às decisões multicritério em três famílias: i). Escola americana ou escola da teoria da utilidade multiatributo, ii). Métodos seletivos ou escola francesa ou escola européia e iii). Métodos interativos.

A primeira família de métodos multicritério tem origem na escola americana, baseia-se na agregação de diferentes atributos dentro de uma única função, sendo o objetivo básico a obtenção da alternativa que possa otimizar essa função (GOMES *et al.*, 2002).

A segunda família trata dos métodos seletivos, os quais são mais difundidos na Europa, procuram estabelecer comparações entre alternativas, duas a duas, aplicando a comparação entre alternativas discretas, onde existe a relação de prevalência de síntese, aceitando a incomparabilidade (GOMES *et al.*, 2002), por meio do estabelecimento de uma relação que acompanhe as margens de preferência ditadas pelos agentes decisores, sendo chamada de relação de seleção.

A terceira família trata dos métodos interativos, aplicados em sistemas informáticos os quais têm por objetivo apoiar e melhorar os processos de decisão, especialmente em tarefas complexas e mal estruturadas que requerem a apreciação crítica e o julgamento dos agentes de decisão (GOMES *et al.*, 2002).

Dessa forma, as abordagens multicritério funcionam como uma base para discussão, principalmente nos casos onde há conflitos entre os decisores, ou ainda, quando a percepção do problema pelos vários atores envolvidos ainda não está totalmente consolidada (BOUYSSOU,1989). Igualmente, Noronha (1998) afirma que o objetivo, portanto, é ajudar o decisor a analisar os dados que são complexos no campo ambiental e buscar a melhor estratégia de gestão do meio ambiente.

Estas abordagens foram desenvolvidas para problemas que incluem aspectos qualitativos e/ou quantitativos, tendo como base o princípio de que a experiência e o conhecimento das pessoas é pelo menos tão valioso quanto os dados utilizados para a tomada de decisão (SCHMIDT, 1995). Por conseguinte, nota-se que a análise multicritério leva em conta a subjetividade dos atores (ROY e VANDERPOOTEN, 1996).

A utilização da metodologia multicritério como ferramenta de apoio à decisão em problemas ambientais tem crescido significativamente nas últimas décadas. Tal metodologia tem sido aplicada em processos decisórios relacionados a planejamento e gestão de recursos hídricos, metodologias de seleção de alternativas para tratamento de esgotos, gestão e disposição de resíduos sólidos, planejamento e uso do solo, gestão de recursos naturais, auditorias ambientais, seleção de investimento em transporte, investimento em energia e avaliação de impacto ambiental (BROSTEL, 2002).

Os métodos multicritério e multiobjetivo possuem aplicações semelhantes, em áreas específicas associadas aos recursos hídricos e ao saneamento básico. Como exemplos de pesquisas nacionais que se enquadram nesse tipo de aplicação destacam-se: Generino (1999), Braga e Gobetti (2002), Brostel (2002), Castro (2002), Moura (2004), Brito (2006), Castro (2007), Cardoso (2008), Milograna (2009), Mendonça (2009), Santos (2010), Evangelista (2011), Cardoso (2012).

Das vantagens encontradas na metodologia multicritério no auxílio à tomada de decisões se encontram a capacidade da mesma em refletir melhor os objetivos, analisar com detalhe as particularidades introduzidas nas alternativas comparadas, quantificar os custos implícitos, não traduzíveis pelas análises custo-benefício e estabelecer uma lista de prioridades do projeto. Entre as desvantagens destas metodologias estão a necessidade de um grande número de informações para cada alternativa avaliada, a dependência do resultado em relação aos

critérios avaliados e em relação à sua aplicabilidade à problemática em questão, que torna a análise subjetiva (HARADA e CORDEIRO NETTO, 1999 *apud* Castro, 2002).

No presente trabalho optou-se pelo método TOPSIS, dada sua aplicabilidade na metodologia proposta e a natureza dos critérios, além de ser relativamente simples e de fácil manipulação. O qual será melhor detalhado no item a seguir.

4.9 Método TOPSIS

O método multicritério TOPSIS (*Technique For Order Performance by Similarity to Ideal Solution*), foi desenvolvido por Ching-Lai Hwang e Kwangsun Paul Yoon (1981), recebendo posteriores contribuições de Zenely (1982) e sendo enriquecido por Yoon (1987) (POMEROL e BARBA-ROMERO, 2000).

Trata-se de um método multicritério de apoio à decisão no qual diversas alternativas são avaliadas através da similaridade, segundo uma série de atributos de prioridades determinadas por um indicador derivado da combinação entre a aproximação a uma situação ideal, em inglês *Positive Ideal Solution* (PIS) e ao distanciamento de uma situação ideal negativa, em inglês *Negative Ideal Solution* (NIS), auxiliando na tomada de decisões e na organização de problemas mediante comparações e rankings.

Segundo Aguiar (2012), o método TOPSIS se justifica pelo fato de apresentar facilidade de aplicação por sua simplicidade conceitual. A sua forma de abordar um problema de decisão é através da comparação entre duas situações hipotéticas - ideal e indesejável ou anti-ideal.

Além disso, o método TOPSIS responde a mudanças de variáveis durante o processo de análise e não exige recursos sofisticados de processamento de dados (SALOMON, 2004).

O TOPSIS pode ser considerado o método mais utilizado para o cálculo de similaridade, com o princípio de ordenação das preferências por analogia com a solução ideal e a criação de um indicador que encontra tanto a solução ideal como a separação à solução ideal negativa (MIRANDA, 2008).

A Figura 4.10 - ilustra o conceito de distâncias ao ideal e ao anti-ideal para um conjunto de soluções propostas.

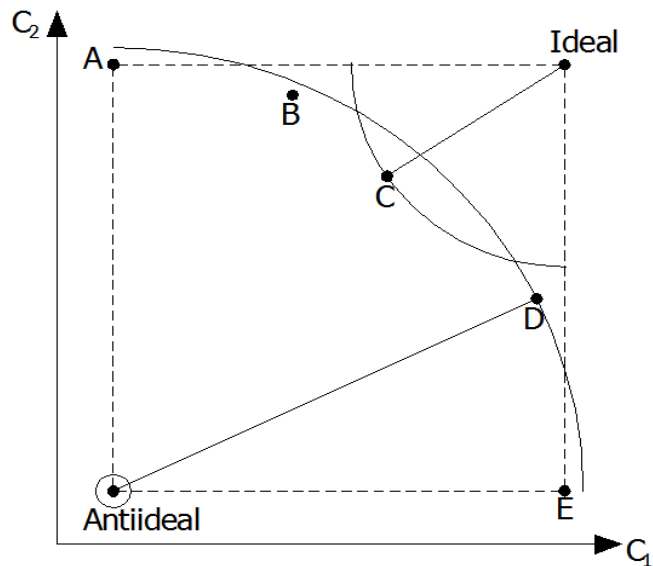


Figura 4.10 - Distância das Alternativas à Solução Ideal e Anti-Ideal. (Fonte: Adaptado por Moura (2004) *apud* Pomerol e Barba - Romero, 2000).

O método TOPSIS é baseado na distância que as alternativas têm em relação à solução considerada como ideal e ao anti-ideal. Para tanto, são definidos os vetores dos melhores e dos piores valores alcançados em cada critério na matriz de avaliação (distância ao ideal e ao anti-ideal, respectivamente). De posse dos parâmetros w e p definidos, calcula-se a distância de cada alternativa à solução como sendo a solução de compromisso (taxa de similaridade) (MENEZES, 2006).

De acordo com Pomerol e Barba - Romero (1993), o esquema de cálculo das distâncias ponderadas ao ideal e ao antiideal, é apresentado nas equações a seguir.

- Distância ao ideal

$$d_p^M(a_i) = \left[\sum_j w_j^p |a_j^M - a_{ij}|^p \right]^{1/p} \quad (\text{Eq. 1})$$

- Distância ao anti-ideal

$$d_p^m(a_i) = \left[\sum_j w_j^p |a_j^m - a_{ij}|^p \right]^{1/p} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

$d_p^M (a_i)$: distância de Minkovski entre os pontos a_i^M e a_{ij} ;

$d_p^m (a_i)$: distância de Minkovski entre os pontos a_i^m e a_{ij} ;

j : critério analisado;

w_j : peso do critério j ;

a_j^M : ponto de ideal para o critério j (valor máximo dentre os listados);

a_j^m : ponto de anti-ideal para o critério j (valor mínimo dentre os listados);

a_{ij} : ponto de coordenada da alternativa considerada para o critério j ;

p : valor que define o tipo de distância.

A partir das equações (1) e (2), calcula-se a taxa de similaridade:

$$D_p (a_i) = \frac{d_p^m (a_i)}{[d_p^M (a_i) + d_p^m (a_i)]} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

$D_p (a_i)$: taxa de similaridade;

$d_p^M (a_i)$: distância de Minkovski ao ideal;

$d_p^m (a_i)$: distância de Minkovski ao anti-ideal.

O valor de D_p varia de 0, para o ponto anti-ideal, a 1, para o ponto ideal.

A partir da taxa de similaridade calculada para cada sistema analisado, ordena-se de forma crescente as soluções propostas. O valor mais próximo da unidade obtido na taxa de similaridade - $D_p (a_i)$ - corresponde à melhor solução. Há então a hierarquização das alternativas.

De acordo com Menezes (2006), o método apresenta algumas vantagens, como a facilidade de aplicação e o modo objetivo de abordar um problema de decisão, comparando duas situações hipotéticas, a positiva e a negativa, além da velocidade em identificar a melhor alternativa.

4.10 Considerações Finais

No presente capítulo foi apresentada a revisão bibliográfica essencial dos principais temas relacionados à restauração de cursos de água e metodologias de análise para priorização e tomada de decisões, servindo como base para o desenvolvimento da presente pesquisa. Foram apresentadas diversas questões relacionadas aos cursos de água, ressaltando conceitos relativos a degradação destes causados pela urbanização, programas de restauração e respectivas experiências em nível mundial, considerações sobre as faixas de proteção e sua delimitação, e que em alguns dos casos são bastante polêmicas e discutidas por parte governamental, ambientalistas e sociedade em geral.

Igualmente foram apresentados, conceitos relacionados a indicadores, análise multicritério e ciclo de tomada de decisão, sendo estes abordados de uma forma mais detalhada dentro do contexto da metodologia proposta por esta pesquisa.

Nos próximos capítulos será apresentado o desenvolvimento da metodologia, que teve como base a escolha e proposição de indicadores de estado e de pressão para priorização de intervenções em cursos de água, e a validação desta em um estudo de caso realizado na cidade de Bogotá, os resultados da pesquisa e respectivas conclusões.

5 METODOLOGIA PARA PRIORIZAÇÃO DE INTERVENÇÕES EM CURSOS DE ÁGUA

5.1 *Considerações iniciais*

A revisão da literatura permitiu tomar conhecimento dos diferentes processos e tratamentos para restauração dos cursos de água. Igualmente a pesquisa envolveu a análise de trabalhos sobre a utilização de diferentes metodologias que auxiliam na tomada de decisões aplicada a escolha de alternativas de projetos ambientais, com ênfase nos relativos à restauração de cursos d'água e drenagem. Por fim, os métodos multicriteriais e exemplos de aplicação constituíram outro tópico relevante na revisão da literatura.

Nesse sentido, sente-se a necessidade de desenvolver um método que ajude na priorização da escolha de soluções, já que são escassas as metodologias para auxiliar na decisão que permita a priorização de intervenções quando em um contexto de diversas bacias impactadas, visando a hierarquização dos trechos de cursos de água a serem restaurados.

A análise será baseada em um conjunto de indicadores de avaliação da situação atual dos trechos - aqui denominados indicadores de estado - e indicadores em relação à pressão antrópica que sofrem as áreas em que os trechos se inserem.

A metodologia proposta consiste em cinco fases distintas. A primeira delas se constituiu na escolha de indicadores, a partir da literatura, que irão compor o denominado **Índice de Estado**. A partir da escolha destes, uma consulta a especialistas foi realizada a fim de avaliá-los. Validados os indicadores, passa-se à agregação destes através do método multicritério TOPSIS, obtendo-se então o Índice de Estado. Em seguida foram definidos indicadores, relacionado com a pressão antrópica sofrida pela área em estudo, além de um indicador de risco de assentamentos humanos, que agregados formam o denominado **Índice de Pressão**. A priorização das intervenções pode então ser realizada com o cruzamento do Índice de Estado com o Índice de Pressão. Os itens a seguir detalham cada uma das cinco fases da metodologia.

É importante ressaltar que antes de se proceder à análise proposta é importante dividir os cursos de água a serem avaliados em trechos homogêneos. De acordo com o critério adotado segundo Rebillard (2001), os trechos homogêneos são aqueles que não apresentam grandes

rupturas no seu funcionamento ou morfologia. Nesse sentido para Simons e Boeters (1998) *apud* Cardoso (2008), “*muito dificilmente será possível realizar o mesmo processo de intervenção para um trecho de um curso de água como um todo, uma vez que sempre existem diferenças e particularidades entre as suas diversas seções*”, características tais como uso e ocupação do solo, conectividade, estado de conservação ou degradação.

5.2 Escolha e definição dos Indicadores de Estado

Esta fase envolveu uma revisão de literatura para escolha e definição dos indicadores para diagnóstico dos trechos. Ressalta-se que para a avaliação de alguns aspectos os indicadores existentes na literatura foram considerados inapropriados ou, em alguns casos, inexistentes, considerando o objetivo desta pesquisa, nestes casos foram propostos novos indicadores. Os aspectos hidrológicos, sedimentológicos, ambientais, risco de inundação, e sanitários 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.

Para a escolha dos objetivos a serem atendidos para a priorização de intervenções, o trabalho foi norteado pelos estudos realizados por um convênio, firmado em dezembro de 2008 (convênio 9-07-24100-965-2008) entre a Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB e o Departamento de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Javeriana, que teve como objetivo unir forças para fortalecer a gestão e pesquisa em torno da conservação, restauração, participação e manejo ecossistêmico sustentável do sistema hídrico da cidade de Bogotá. A metodologia de trabalho do convênio consistiu em revisão de literatura, reuniões interdisciplinares na universidade, encontros com a equipe de profissionais da EAAB e a definição de quatro eixos articuladores através do estabelecimento de objetivos específicos para restauração dos trechos de cursos de água.

Neste contexto, a escolha dos indicadores foi baseada na abordagem e cumprimento dos seguintes objetivos: i) Mitigar os riscos por poluição, inundação e movimentos de massa; ii) Recuperar a estrutura e funcionamento dos ecossistemas presentes nos trechos de cursos de água e seus corredores ecológicos; iii) Manter o regime hídrico e sedimentológico mais apropriado às necessidades locais iv) Propor estratégias sociais de sustentabilidade nos processos de restauração dos cursos d'água.

A proposta metodológica desenvolvida neste trabalho parte da disponibilidade de dados para a escolha e estabelecimento de uma série de indicadores de estado, à partir da revisão de literatura e discussões entre o grupo de pesquisa, ligados às vertentes ou aspectos de análise escolhidos, abrangendo os quatro objetivos anteriormente mencionados. Foram selecionados indicadores incluindo os aspectos sanitário, risco de inundação, ambiental, hidrológico, e sedimentológico .

Os indicadores foram estabelecidos com uma variação de [0 a 1], seguindo uma preferência decrescente, sendo 0 a pontuação corresponde ao melhor desempenho quanto a um determinado critério e 1 o pior desempenho.

Após a definição e escolha dos indicadores, foi realizada consulta a profissionais colombianos 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. Os profissionais consultados validaram a escolha dos objetivos, aspectos e indicadores. Alguns deles sugeriram a inclusão de indicadores de custos, o que considera-se prematuro nesta fase da pesquisa, sendo este aspecto indicado nas perspectivas para trabalhos futuros sobre o tema. Alguns profissionais sugeriram a inclusão de indicadores de remoção e reassentamento de população, entretanto considera-se que este tipo de indicador entraria na fase de escolha da alternativa de intervenção a ser realizada e não na fase de priorização de trechos.

Nesse sentido, foram definidas cinco categorias de aspectos: sanitários, riscos de inundações, ambientais, hidrológicos e sedimentológicos. A partir dessa definição foram escolhidos e propostos dez indicadores denominados para este caso *Indicadores de Estado*, tendo como finalidade atingir o maior número possível de condições e aspectos impactados nos cursos de água. As Tabelas 5.1 e 5.2, exibe a relação entre os objetivos e os aspectos citados relacionando-os com seus respectivos indicadores.

Tabela 5.1 – Objetivos, Aspectos e Indicadores de Estado selecionados

Objetivo	Aspecto	Indicador	
<i>Mitigar riscos por poluição, inundação e deslocamento de massa</i>	Sanitário	Vertimento de águas residuais	(I _{VAR})
		Proliferação de vetores	(I _{PV})
	Risco de inundação	Inundação no local	(I _{IL})
	Ambiental	Estabilidade de margens	(I _{EM})
		Recuperação e manutenção de ecossistemas	(I _{RME})
<i>Recuperar a estrutura e funcionamento dos ecossistemas presentes nos trechos de cursos de águas e seus corredores ecológicos da faixa de proteção</i>		Modificação na vegetação	(I _{MV})
	Hidrológico	Alteração das vazões	(I _{AQ})
<i>Manter o regime hídrico e sedimentológico mais apropriado para as necessidades locais</i>	Sedimentológico	Regime sedimentológico	(I _{RS})

Tabela 5.2 – Objetivos, Aspectos e Indicadores de Pressão selecionados

Objetivo	Aspecto	Indicador	
<i>Propor estratégias sociais de sustentabilidade nos processos de restauração dos cursos d'água</i>	Pressão	Antrópica	(I _{PA})
		Social	(I _S)

É importante ressaltar que para facilitar a avaliação dos Indicadores de Estado e de Pressão, foram elaboradas tabelas, tornando a análise mais clara e consistente, sendo alguns deles avaliados de forma subjetiva baseada na experiência profissional do decisor. Deste modo são apresentados todos os indicadores de estado definidos e escolhidos, dando ênfase ao que cada um deles pretende avaliar.

5.2.1 Indicadores relativos ao Aspecto Sanitário

O aspecto sanitário tem papel importante na manutenção das funções ecológicas dos cursos d'água e das condições necessárias à vida humana. Os dois indicadores selecionados como de maior relevância na priorização de intervenções em cursos d'água foram o vertimento de

águas residuais, que tem influência na contaminação das águas pela poluição pontual, e a proliferação de vetores. Para a avaliação destes indicadores se estabelece que a situação de referência é a condição natural ou mais próximo ao natural dos cursos de água.

a) Vertimento Águas Residuais (I_{VAR})

Para a avaliação deste indicador adotou-se duas opções de indicador. A primeira delas quando for possível a realização de análises físico-químicas da qualidade da água para a avaliação do I_{VAR} deve-se comparar as concentrações de DBO, DQO e Coliformes totais com os valores limites da norma. Caso para algum dos parâmetros avaliados o valor encontrado ultrapassar o valor da norma o indicador deve receber o valor 1, caso contrário, o valor 0. É importante destacar que devem ser levadas em consideração as normas locais referentes aos valores admissíveis.

Caso não seja possível a avaliação através de parâmetros físico-químicos, parâmetros sensoriais devem ser utilizados, através do indicador proposto por Santos (2010), que sugere a verificação de parâmetros sensoriais, já que a obtenção deles é rápida e de baixo custo trazendo uma noção a respeito dos principais problemas relacionados à qualidade da água e do estado de degradação do cursos d'água. A avaliação dos parâmetros odor e cor deve ser realizada com base nas Tabelas 5.3 e 5.4, já a agregação dos dois parâmetros é realizada como se explica a seguir.

Tabela 5.3 – Quadro de avaliação do Indicador Vertimento de águas residuais (I_{VAR}) – parâmetro sensorial cor

Avaliação do parâmetro sensorial cor de acordo com o grau de perturbação	
Tipo	Pontuação
Ausência de Perturbação	0
Perturbação Moderada	
Perturbação Média	
Perturbação Alta	
Perturbação Severa	1

Tabela 5.4 – Quadro de avaliação do Indicador Vertimento de águas residuais (I_{VAR}) – parâmetro sensorial odor

Avaliação do parâmetro sensorial odor de acordo com o grau de perturbação	
Tipo	Pontuação
Ausência de Perturbação	0
Perturbação Moderada	
Perturbação Média	
Perturbação Alta	
Perturbação Severa	1

Para agregação dos dois aspectos – cor e odor – utiliza-se a formulação a seguir, que ainda leva em consideração a observação em visita de campo da presença de pontos de lançamento de efluentes diretamente no curso de água, representada por um fator de correção (K) com escala de avaliação onde [0,5] é ausência e [1] presença de lançamento.

$$I_{VAR} = \frac{K [Nota Cor] + [Nota Odor]}{2} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que:

I_{VAR} – Indicador de vertimento de águas residuais

K – Fator de correção em relação à presença de lançamentos com variação de [0,5 – 1]

Nota Cor – Nota atribuída ao critério cor

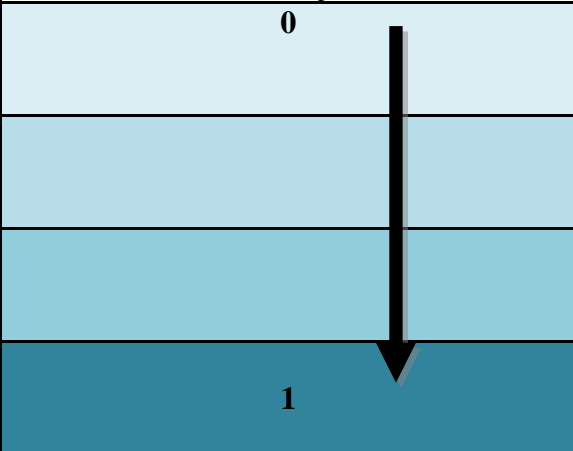
Nota Odor – Nota atribuída ao critério odor

b) Proliferação de vetores (I_{PV})

A disposição inadequada dos resíduos sólidos é causante de impactos socioambientais, tais como degradação do solo, comprometimento dos corpos d'água e mananciais, intensificação de enchentes, contribuição para a poluição do ar e proliferação de vetores de importância sanitária, assim como condições insalubres nas ruas e nas áreas de disposição final.

A avaliação deste indicador considera as respectivas condições de salubridade, contemplando de forma qualitativa presença de locais potencialmente sensíveis a geração de vetores mediante a disposição inadequada de resíduos sólidos, na área de influência dos trechos. A nota de avaliação vai de [0 – 1] quanto maior o valor obtido pelo indicador, pior será o seu desempenho neste aspecto, de acordo com o estabelecido na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Quadro de avaliação do Indicador Proliferação de vetores (I_{PV})

Avaliação proliferação de vetores mediante presença de locais sensíveis a disposição inadequada de resíduos sólidos	
Tipo	Pontuação
Ausência de locais propensos a geração de vetores e de disposição inadequada de resíduos sólidos	0 
Presença mínima de locais propensos a geração de vetores e de disposição inadequada de resíduos sólidos	
Presença média de locais propensos a geração de vetores e de disposição inadequada de resíduos sólidos	
Presença alta de locais propensos a geração de vetores e de disposição inadequada de resíduos sólidos	

5.2.2 Indicador relativo ao Risco de Inundação

Um indicador avalia o aspecto risco de inundação. Ele é baseado na modificação de uso e ocupação solo que pode levar a alterações no escoamento superficial e consequentemente no risco de inundação.


Inundação no local (I_{IL})

A frequência das inundações em áreas urbanas pode ser influenciada por alguns fatores, entre eles a ocupação do solo, e suas causas são tão variadas como assoreamento do leito dos rios, impermeabilização das áreas de infiltração na bacia de drenagem ou fatores climáticos.

A avaliação deste indicador é feita de acordo com a perturbação no uso do solo, em função do tipo de ocupação da área existente ou no dano exercido por tais fatores. A nota de avaliação varia de zero a um, levando em consideração que pode-se apresentar desde a ausência de perturbação até uma perturbação severa. No entanto deve-se levar em conta que a avaliação também depende da percepção do analista no sentido de considerar a inundação como um benefício ou um prejuízo, muitas vezes dependendo da localização bem seja urbana ou rural. As inundações podem ser consideradas benéficas, sendo o principal benefício a renovação do ecossistema onde ocorrem, assim como para irrigação de cultivos de arroz.

A Tabela 5.6, serve para balizar a avaliação do indicador. Valores intermediários aos apresentados podem ser utilizados, a critério do avaliador, visando garantir a restauração.

Tabela 5.6 – Quadro de avaliação do Indicador Inundação no local (I_{IL})

Avaliação inundação no local de acordo com a perturbação no uso do solo	
Tipo	Pontuação
Ausência de Perturbação no uso do solo, condições próximas à condição natural ou de referência	0 
Perturbação Moderada no uso do solo com pequeno aumento do nível de risco de inundação no local	
Perturbação Média no uso do solo com aumento moderado do risco de inundação no local	
Perturbação Alta no uso do solo com risco significativo de inundação no local	
Perturbação Severa no uso do solo com impacto significativo no nível de risco de inundação no local	
	1

Fonte: Adaptado de Baptista *et al* (2012)

5.2.3 Indicadores relativos ao Aspecto Ambiental

As intervenções em cursos de água podem ter características que permitam ou não a sua integração aos ecossistemas, buscando-se assim, avaliar o quão impactadas estão as funções e inter-relações do curso de água, tais como a alteração da paisagem pela artificialização da seção, redução da diversidade de *habitats*, alteração da temperatura e do aporte de nutrientes pela eliminação ou redução da vegetação das margens. Foi proposta a utilização de quatro indicadores para avaliação deste aspecto: erosão e assoreamento, estabilidade das margens, manutenção de ecossistemas e modificação na vegetação.

a) Estabilidade das margens (I_{EM})

De acordo com MacCafferri (2001), a condição de estabilidade das margens de um curso d'água pode ser entendida como o equilíbrio entre a ação do escoamento sobre o leito do rio e a resistência ao movimento dos materiais constituintes, podendo ser alterado naturalmente em função da ocorrência de grandes cheias, ou em função da evolução contínua do traçado. Tais alterações podem ocorrer através de intervenções diretas (obras no próprio curso d'água) e indiretas (ações na bacia hidrográfica que causem alteração no uso do solo).

De acordo com Baptista *et al* (2012), para a avaliação deste indicador devem ser considerados os níveis de alteração das condições das margens do curso de água em relação ao cenário natural ou não impactado, atribuindo nota de zero a um, conforme a Tabela 5.7, valores intermediários aos propostos poderão ser utilizados. Dessa forma, os impactos sobre as condições da estabilidade de margens em um determinado local podem ser muito diversificados e devem ser analisados caso a caso.

Tabela 5.7 – Quadro de avaliação do Indicador Estabilidade das margens (I_{EM})

Avaliação estabilidade das margens em relação a um cenário natural	
Tipo	Pontuação
Margens estáveis	0
Margens estáveis com mínima ocorrência de focos de erosão e de pontos de solapamento e/ou deslizamentos	
Margens parcialmente instáveis, com focos isolados de erosão, e áreas restritas de solapamento e/ou deslizamentos	
Margens instáveis, apresentando extensos focos de erosão, e / ou áreas de solapamento e deslizamentos	
Margens instáveis em toda a extensão do trecho em estudo	

Fonte: Adaptado de Baptista *et al* (2012)

b) Manutenção de ecossistemas (I_{ME})

A qualidade dos *habitats* está relacionada à capacidade de um curso de água de dar suporte à vida aquática. Dessa forma, os impactos sobre as condições dos ecossistemas em um determinado curso de água podem ser muito diversificados e devem ser analisados caso a caso. O indicador deve ser avaliado de forma qualitativa, comparando-se a capacidade do trecho de curso de água em manter ecossistemas na situação atual com sua situação natural ou de referência. Deve-se considerar que a vida aquática depende de condições das escoamento e materiais de revestimento do leito e margens. A avaliação do indicador se dá atribuindo-se uma nota de avaliação de zero a um, segundo o grau de perturbação em relação à situação natural (Tabela 5.8).

Tabela 5.8 – Quadro de avaliação do Indicador Manutenção de ecossistemas (I_{ME})

Tipo	Pontuação
Ausência de Perturbação, o curso de água é capaz de manter ecossistemas em condição similar à situação natural ou de referência	0
Perturbação moderada, capacidade moderada do curso de água em manter ecossistemas em condição próxima à situação natural ou de referência	
Perturbação média, capacidade do curso de água em manter ecossistemas em condição alterada em relação à situação natural ou de referência	
Perturbação alta, capacidade baixa do curso de água em manter ecossistemas na situação natural ou de referência	
Perturbação severa, incapacidade do curso de água em manter ecossistemas na situação natural ou de referência	1

c) Modificação na vegetação (I_{MV})

A mata ciliar é a vegetação que ocorre nas margens dos cursos d'água, funcionando como filtro ambiental, retendo poluentes e sedimentos que chegam aos corpos de água, sendo fundamental para o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos, atraente para a reinserção de fauna e flora, o controle de processos de erosão e assoreamento, entre outros.

A avaliação deste indicador é feita conforme Baptista *et al* (2012), considerando a tipologia e área de inserção do curso de água, assim o cenário natural poderá ser caracterizado pela presença ou escassa presença de vegetação, e os diferentes tipos de alterações, atribuindo notas de zero a um, de acordo com o cenário, conforme Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Quadro de avaliação do Indicador Modificação na vegetação (I_{MV})

Avaliação modificação na vegetação de acordo com a tipologia e área de inserção do curso de água	
Tipo	Pontuação
Presença de vegetação próxima à condição natural	0
Alterações pouco significativas quanto a presença de vegetação	
Alterações moderadas quanto a presença de vegetação	
Alterações consideráveis quanto a presença de vegetação	
Alterações significativas quanto a presença de vegetação	1

5.2.4 Indicador relativo ao Aspecto Hidrológico

A manutenção do equilíbrio dos processos ecológicos está intimamente relacionada à variabilidade espaço-temporal das vazões, portanto, a manutenção do regime de vazões faz-se necessária. Por outro lado, haverá situações em que o processo de urbanização já se encontra consolidado, com grande área da bacia impermeabilizada, os cursos de água bastante impactados e com ocupação de suas margens, não havendo possibilidade de recuperar o regime de vazões do curso de água em situação natural (Evangelista, 2011).

Alteração das vazões (I_{AV})

De acordo com Baptista *et al* (2012), a avaliação deste indicador é feita levando em consideração a capacidade de interação e fluxo entre as águas superficiais, subsuperficiais e profundas, na área de contribuição da bacia, atribuindo-se nota de avaliação de zero a um, como se apresenta na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 – Quadro de avaliação do indicador Alteração das vazões (I_{AV})

Avaliação alteração das vazões de acordo com as alterações no regime hidrológico	
Tipo	Pontuação
Regime hidrológico próximo ao natural	0
Alterações pouco significativas no regime, e fluxo de água entre superfície e lençol pouco alterado	
Alterações moderadas nas condições de fluxo de água entre superfície e lençol	
Alterações significativas nas condições de fluxo de água entre superfície e lençol	
Alterações significativas no regime, e ausência de fluxo de água entre superfície e lençol	1

Fonte: Adaptado de Baptista *et al* (2012)

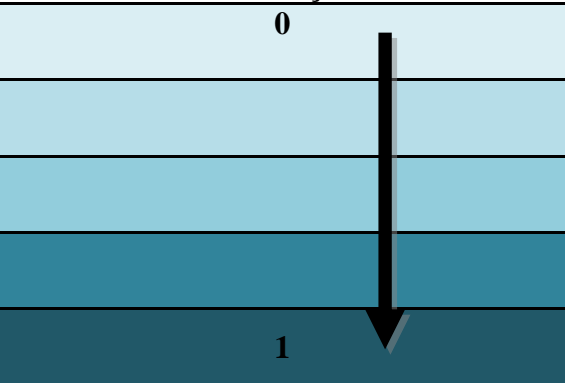
5.2.5 Indicador relativo ao aspecto sedimentológico

Regime sedimentológico (I_{RS})

Englobando a modificação da carga sedimentológica com o aspecto erosão e assoreamento, é de levar em consideração que os processos relacionados à dinâmica geomorfológica – como a incisão do leito e a deposição de sedimentos são de extrema importância e são contemplados através do presente indicador, que avalia o regime sedimentológico abordando a capacidade do mesmo de manter sua finalidade.

Tomando como base o trabalho de Santos (2010), que considera que “*um curso de água severamente perturbado é aquele em que mais de 60% do trecho foi assoreado ou sofreu erosão, chega-se a subcategorias de perturbação: a perturbação será considerada ausente se no máximo 5% do curso tiver sido alterado, se este percentual for entre 5% e 25% a perturbação é considerada moderada, se for entre 25% e 40% é média e se for entre 40% e 60% é alta*”. O indicador é avaliado de acordo com o grau de perturbação, atribuindo nota de zero a um, de acordo com a Tabela 5.11.

Tabela 5.11 – Quadro de avaliação do Indicador Regime Sedimentológico (I_{RS})

Avaliação regime sedimentológico de acordo com o grau de perturbação em relação à situação natural	
Tipo	Pontuação
Ausência de Perturbação, regime próximo à condição natural	0 
Perturbação Moderada, alterações pouco significativas no regime sedimentológico	
Perturbação Média, alterações moderadas no regime sedimentológico	
Perturbação Alta, alterações consideráveis no regime sedimentológico	
Perturbação Severa, alterações significativas no regime sedimentológico	

5.3 Ponderação e agregação dos Indicadores de Estado – Índice de Estado

A ponderação dos indicadores por parte dos profissionais atuantes na área de restauração de cursos de água torna-se relevante no desenvolvimento da metodologia para priorização de intervenções em trechos de cursos de água. Nesse sentido, deve ser considerada a análise de importância dos indicadores assim como a escolha e seleção dos participantes do processo decisório, devendo estes conhecer o contexto local dos trechos a serem avaliados.

A análise de importância dos indicadores propostos é uma etapa muito importante do processo decisório dentro da metodologia proposta, já que o peso de cada critério será determinado dentro da análise global a ser adotada.

Nesse contexto, de acordo com Castro (2002), faz menção que a grande dificuldade de atribuir pesos vem do fato de que os pesos não são grandezas que podem ser determinadas de forma direta e objetiva, por meio de expressões matemáticas ou experimentações.

É importante que se refaça a ponderação dos indicadores para cada estudo de caso específico, visando a representação das especificidades das áreas estudadas. Para se realizar a consulta a

especialistas várias metodologias podem ser adotadas, como consulta Delphi², questionários, dentre outras.

Os Indicadores de Estado propostos devem ser agregados, através de um método multicritério para permitir a tomada de decisão. No presente trabalho estes indicadores serão agregados através do método TOPSIS, anteriormente detalhado no item 4.94.9, permitindo a obtenção no Índice de Estado.

5.4 Indicadores de Pressão

Busca-se identificar e descrever as pressões exercidas pelas atividades humanas que podem provocar mudanças no estado do meio ambiente e sobre os recursos naturais. Estas pressões são comumente classificadas como fatores ou forças subjacentes tais como: crescimento populacional, consumo ou pobreza.

Tal pressão pode ser gerada pela alta concentração populacional na área da bacia, nas faixas de proteção e áreas adjacentes aos cursos d'água, revelando os desequilíbrios demográficos entre as zonas rurais e urbanas e igualmente gerando uma série de problemas como a ocupação e assentamentos humanos em áreas de riscos, poluição, desmatamentos, entre outros impactos, afetando de forma direta a qualidade ambiental.

Considera-se que uma área que sofre pressão por ocupação deve ter sua intervenção priorizada em relação a outras áreas, cuja pressão por ocupação é menor. Um exemplo desta situação é quando se tem um curso de água bem preservado situado em uma área que é vetor de crescimento populacional e aumento demográfico, caso não se priorize ações que visem a preservação deste curso de água sua área de proteção está correndo forte risco de ocupação e com ela a perda de qualidade ambiental deste curso de água.

² É um método sistemático e interativo de estimativa que se baseia na experiência independente de cada especialista. Tem como propósito a obtenção de um parecer ou estima baseado em evidências existentes, porém, removendo os impedimentos que ocorrem no grupo de trabalho quando se busca um consenso entre os especialistas dele participantes. Os especialistas são rigorosamente selecionados por suas reconhecidas experiências e conhecimentos e respondem a um questionário(MARTINO, 1993).

Neste caso, para a conformação do Índice de Pressão foram estabelecidos dois indicadores: Indicador de pressão antrópica e Indicador social, sendo cada um deles avaliados a seguir.

5.4.1 Indicador Pressão antrópica


O indicador de pressão avalia o potencial de impacto e degradação, através do grau de estresse exercido pela intervenção antrópica – urbanização e principais atividades econômicas tais como industrial, comercial, mineração e agropecuária – sobre o sistema ambiental local, com especial atenção para seu potencial poluidor, ritmo de crescimento e concentração espacial.

A avaliação deste indicador é feita de forma qualitativa levando em consideração duas áreas de influencia principalmente na bacia hidrográfica e na faixa de proteção, os diferentes tipos de pressão exercidos sobre os trechos de cursos de água tal como a presença de ocupação por assentamentos humanos seja urbano ou rural, desenvolvimento de diversos tipos de atividades tanto econômica, industrial, comercial, ou de serviços baseado na ocupação e uso do solo estabelecido ou planejado e previsto dentro do Plano de Ordenamento Territorial.

Nesse sentido a avaliação deste indicador é realizada duas vezes considerando que foi contemplado duas áreas de influência, pode se atribuir nota de 0 a 1, ficando a cargo do decisor a valoração que julgar adequada, sendo o sentido de preferência decrescente, onde zero representa uma pressão baixa e um uma pressão alta.

No entanto a avaliação final do indicador é feita mediante o calculo da média aritmética das notas arbitradas aos parâmetros definidos na Tabela 5.12., para cada um dos subtrechos e dos cenários mencionados anteriormente.

Tabela 5.12 – Quadro de avaliação do Indicador de Pressão

Parâmetro	Avaliação da pressão			
	0			
Expansão urbana				
Atividade agropecuária e agrícola				
Atividade mineraria				
Atividade industrial				
Adensamento demográfico				
Avaliação Final				

5.4.2 Indicador relativo ao aspecto social

A ocupação antrópica inadequada nas áreas de entorno e proteção dos cursos de água gera uma série de efeitos negativos tanto ambientais como sociais, acarretando a degradação da qualidade de vida da população, e também colocando em risco a mesma. Nesse sentido para avaliar este indicador será levado em consideração o risco dos assentamentos humanos presentes na área em estudo. O indicador proposto foi uma adaptação de um indicador proposto pelo Departamento Nacional de Planeación da Colômbia (DNP, 2012).

Risco para assentamentos humanos (I_{RAH})

São consideradas impróprias ao assentamento humano áreas sujeitas a riscos naturais ou decorrentes da ação antrópica, nas áreas das faixas hidráulicas e de proteção dos trechos de cursos de água. O indicador deve ser avaliado mediante a relação da equação 7, a seguir, com valores variando de 1 a 0.

$$I_{RAH} = Pa/Pt \quad (\text{Eq. 7})$$

Em que:

I_{RAH} – Indicador de risco de assentamentos humanos;

Pa – Número estimado de pessoas afetadas que moram em áreas de risco;

Pt – Total de pessoas que habitam a área.

Alternativamente, caso não se possua dados de população para a área em estudo, o indicador poderá ser calculado em função da área de risco e de influência dos assentamentos humanos existentes, utilizando a equação 8, a seguir.

$$I_{RAH} = \frac{A_a}{A_t} \quad (\text{Eq. 8})$$

Em que:

I_{RAH} – Indicador de risco de assentamentos humanos;

A_a – Área de risco onde há assentamento humanos, em m^2 ;

A_t – Área total de influência no trecho onde existem assentamentos humanos, em m^2 .

Os indicadores de pressão avaliados correspondem ao denominado Índice de Pressão, que será analisado em conjunto com o Índice de Estado, conforme descrito no item 5.6.

5.5 Ponderação e agregação dos indicadores de pressão – Índice de Pressão

De acordo com Maystre *et al.*, (1994) *apud* Moura (2004) para ressaltar a importância relativa de cada critério é necessário associar um coeficiente de importância, um peso, a cada um deles. A fixação dos pesos é denominada ponderação dos critérios e pode ser realizada por um decisor único ou por grupos de decisores.

A ponderação e agregação dos Indicadores de Pressão devem ser feita através de um método multicritério para permitir a tomada de decisão. Assim como para os Indicadores de Estado, para o caso dos Indicadores de Pressão estes serão agregados através do método TOPSIS, o qual foi detalhado anteriormente no item 4.9, permitindo assim a obtenção do **Índice de Pressão**.

5.6 Avaliação Estado versus Pressão

A hierarquização dos trechos de cursos de água por ordem de prioridade de intervenção é realizada plotando-se em um gráfico, denominado gráfico de Pareto, os pares, Índice de Estado, Índice de Pressão para cada trecho de curso de água analisado. Os trechos que devem sofrer intervenções prioritárias são aqueles com pior avaliação, ou seja, aqueles mais próximos ao canto superior direito do gráfico.

5.7 Aplicação da metodologia proposta

Depois de ter definido os indicadores, a ponderação dos mesmos definida caso a caso, a metodologia de priorização pode ser aplicada. No presente trabalho o estudo de caso teve como finalidade a avaliação da aplicabilidade e os resultados da metodologia proposta, os quais são apresentados nos próximos capítulos. Esta metodologia foi aplicada nos trechos de torrentes Bolonia e Yomasa, situados na localidade de Usme em Bogotá, por ser um local com levantamentos de campo já realizados e por já ter sido alvo de diversos estudos, que foram utilizados como fonte de dados secundários. O capítulo a seguir irá detalhar a aplicação da metodologia proposta neste estudo de caso.

6 ESTUDO DE CASO

A sistemática de auxílio à decisão para priorização desenvolvida neste trabalho, apresentada nos capítulos anteriores, foi aplicada a um estudo de caso na Localidade Quinta de Usme de Bogotá.

A Localidade de Usme está localizada ao sul de Bogotá que tem área total de 21.556 hectares (216 km²), dos quais 2.064 se classificam como solo urbano 568 hectares se localizam em áreas protegidas, 1.186 hectares correspondem ao solo de expansão e 18.307 hectares, que equivalem aos 85% do total, se classificam como solo rural (Figura 6.1).

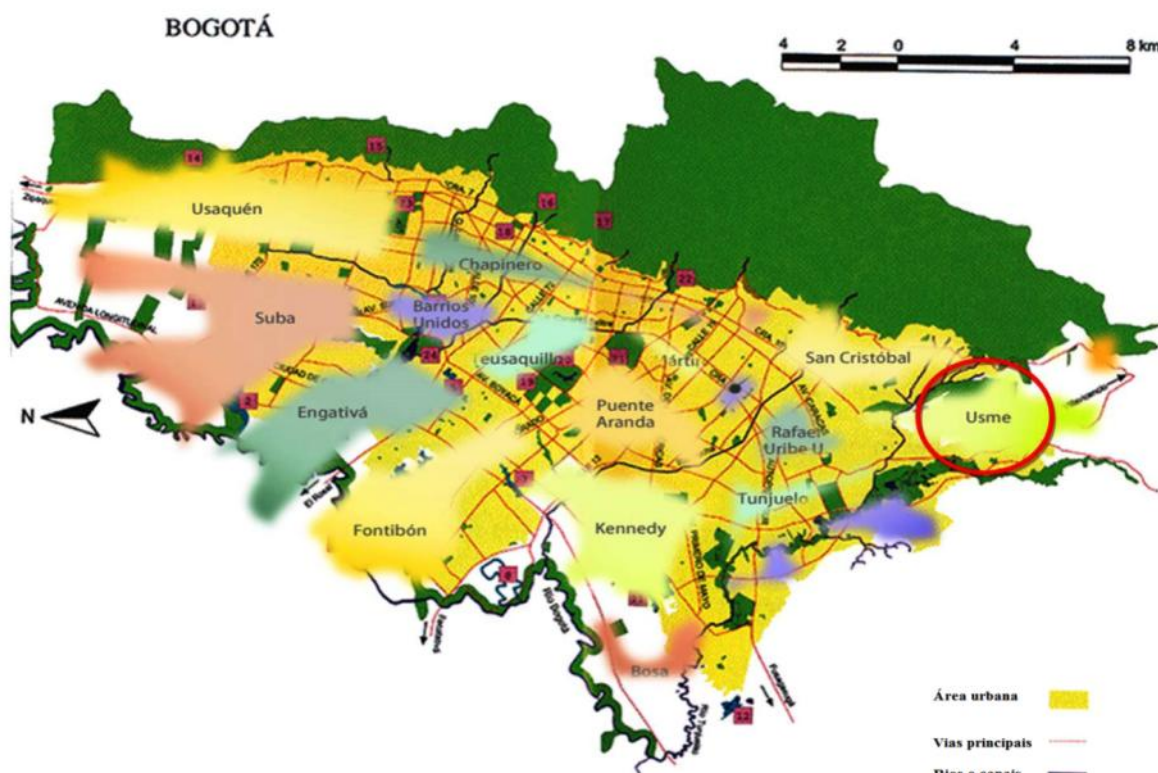


Figura 6.1 - Localização da Localidade de Usme, Bogotá.

(Fonte: Bogotá, 2010).

Os estudos em questão tratam de dois trechos de torrentes, Bolonia e Yomasa, que fazem parte integral da bacia do rio Tunjuelito, um dos mais importantes do sistema hídrico da cidade, os quais em sua maior parte apresentam problemas de poluição, degradação e invasão das faixas de proteção.

De acordo com Bogotá (2008), o rio Tunjuelito drena até o rio Bogotá, sendo a sub-bacia de maior área (390 km²); nela se encontra localizada uma proporção muito importante da população total da cidade, aproximadamente 30%. E é talvez, a de maior deterioração a partir do ponto de vista da erosão, particularmente pelo intenso uso extrativo de materiais para a construção e pelo inadequado desenvolvimento habitacional que caracteriza esta bacia. Na Figura 6.2, pode-se observar a localização geral dos trechos de torrentes objeto do estudo desta pesquisa.



Figura 6.2 - Localização geral dos trechos de torrentes objeto da pesquisa

(Fonte: Adaptado de Google Earth 2013)

Os cursos d'água Bolonia e Yomasa foram subdivididos em quatro trechos cada um deles. Os limites dos trechos do curso d'água Yomasa são desde sua nascente, passando pela área de proteção pelo Parque Entrenubes, continuando pelos diferentes bairros que conformam a bacia e finalizando até sua desembocadura no rio Tunjuelito.

Os limites dos trechos do Bolonia são desde sua nascente, atravessando uma área de proteção, passando por diferentes bairros como Bolonia, Compostela, I, II, III, Chapinerito, até chegar na desembocadura com o trecho de torrente Yomasa.

A seguir, na Figura 6.3, é apresentada a divisão de cada um dos subtrechos dos trechos de torrentes objetos desta pesquisa.

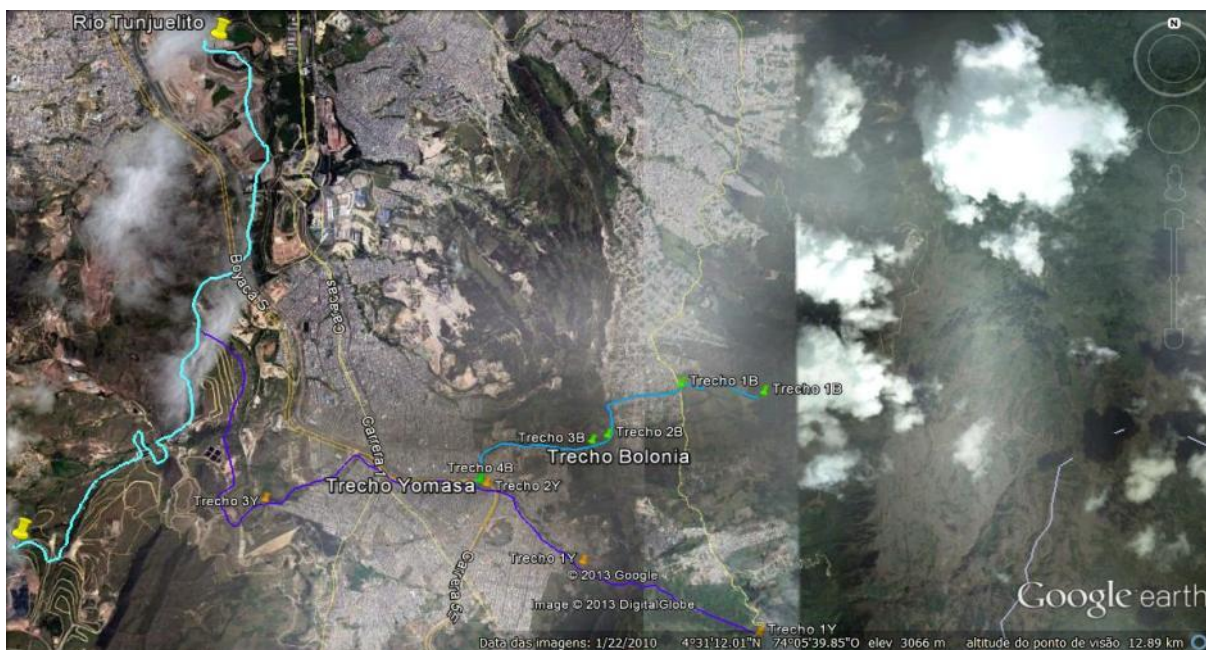


Figura 6.3 - Divisão dos subtrechos e trechos de torrentes objeto da pesquisa

(Fonte: Adaptado de Google Earth 2013)

Para o desenvolvimento do estudo de caso, antes de ser realizadas as respectivas visitas de campo, foram contatados alguns dos docentes do Departamento de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Javeriana, e funcionários da Empresa de Aqueduto de Bogotá, interessados em participar da pesquisa e facilitar o intercâmbio de informação, experiências de trabalho sobre o tema. Durante este processo, foram desenvolvidas várias atividades, sendo as principais listadas assim:

- Realização de visitas nas diferentes entidades territoriais competentes e envolvidas diretamente com o tema de preservação, conservação, restauração e proteção dos trechos de torrentes, tais como Ministério de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), Secretaria Distrital de Ambiente, Secretaria Distrital de Planeacion, Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) na parte cartográfica.

- Consulta em bibliotecas e centros de documentação de faculdades e entidades do governo, para realizar a coleta de informação documental, como: levantamento da situação atual dos trechos de torrentes na cidade, revisão do marco legal, procura de estudos feitos por outros pesquisadores, e revisão geral da literatura. Dentre as bibliotecas visitadas estão: Biblioteca Alfonso Borrero Cabal, S.J. (Biblioteca Central da Pontifícia Universidade Javeriana

localizada em Bogotá); Biblioteca Ramon de Zubiria (Biblioteca General da Universidade dos Andes); Biblioteca Central da Universidade Manuela Beltran (localizada em Bogotá); Biblioteca Central da Universidade Nacional de Colômbia (localizada em Bogotá); Biblioteca Central da Universidade Distrital Francisco Jose de Paula; Biblioteca Central da Universidade Militar Nueva Granada; Centro de Documentação do Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales (IDEAM), localizada em Bogotá, e; Centro de Documentação da Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB).

- Visitas de reconhecimento, visita de campo, recolhimento de amostras para o análises de parâmetros físico-químicos e microbiológicos da qualidade de água dos trechos de torrentes Bolonia e Yomasa, e o respectivo georeferenciamento dos mesmos, em trabalho em conjunto com a Pontifícia Universidade Javeriana e o projeto PROSOFI³.

Nesse sentido e com base no diagnóstico realizado, na atualidade cerca de 200 cursos d'água entre trechos de torrentes, córregos e canais, fazem parte do sistema de drenagem pluvial de Bogotá. Considerando a problemática que a maioria destes apresenta, como suas condições de poluição, degradação, invasão e perda de suas faixas de proteção, o Programa Social PROSOFI da Pontifícia Universidade Javeriana, em conjunto com outras instituições tem trabalhado em pesquisas nos trechos de torrentes Bolonia e Yomasa, com o objetivo de proteger, conservar e restaurar os ditos cursos d' água. Na Figura 6.4. é apresentada a localização geral dos trechos objeto desta pesquisa.

³ PROSOFI é uma iniciativa que vem liderando a Faculdade de Engenharia da Pontifícia Universidade Javeriana desde o ano 2010 para promover projetos interdisciplinares e interinstitucionais que buscam potencializar o desenvolvimento integral de comunidades que residem na localidade de Usme.

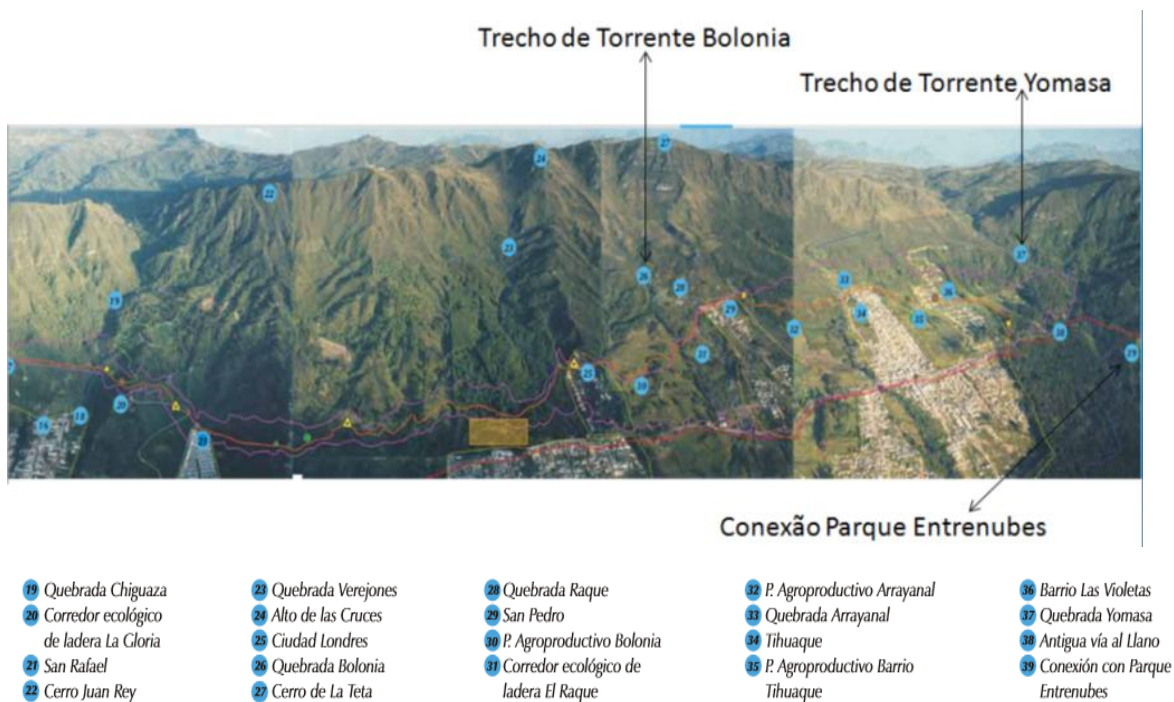


Figura 6.4 - Localização geral dos trechos de torrentes Bolonia e Yomasa.

(Fonte: Bogotá - Los caminos de los Cerros, 2007)

Os trechos em sua parte alta possuem cobertura vegetal densa, porém apresentam problemas pela perda de cobertura vegetal em seu curso médio e na parte baixa, produto do urbanismo. A falta de consciência ambiental da população da localidade de Usme tem levado ao uso não adequado do espaço público nas áreas de proteção, na poluição do corpo de água pela disposição inadequada de resíduos sólidos e vertimento de águas residuais, que trazem como consequência a proliferação de vetores e em tempo de chuva o aumento da vazão traz consigo inundações, enchentes e problemas de erosão nas áreas ribeirinhas.

6.1 Descrição do trecho de torrente Bolonia

O trecho de torrente Bolonia encontra-se localizado no setor sul oriental do Distrito Capital, aproximadamente a 3.500 m de altitude na ladeira norte do cerro Pan de Açúcar, nascente do trecho. Este trecho verte suas águas ao trecho de torrente Yomasa e passa pelo setor Cuchilla del Gavilan, parte do Parque Ecológico Distrital de Montanha Entrenubes – PEDEN (área protegida pelo Distrito).

De acordo com Bogotá (2003), o trecho de torrente possui um comprimento de 3,6 km, e uma declividade média de 15%. O trecho estudado não passa pela área protegida, mas é importante por fazer parte de um grupo de drenagens que nascem nos cerros orientais e se constituem em potenciais conectores entre os Cerros Orientais, o cerro Juan Rey e a Cuchilla do Gavilán.

O trecho é protegido por um denso corredor de vegetação nativa, que favorece o fluxo permanente de água com boa qualidade, ainda passa por terrenos cultivados, como batata e ervilha, e áreas destinadas à pecuária. Ao longo da estrada ao Oriente, até sua desembocadura no trecho Yomasa, o trecho Bolonia coleta as águas servidas dos bairros que o limitam a leste com o parque como La Flora, Compostela, e os efluentes de práticas agrícolas de pequenas áreas de cultivo e moradias do bairro Bolonia.

O trecho de torrente é bastante retilíneo, situado em terrenos planos a semi-ondulados. Predomina às suas margens, a vegetação nativa, correspondente a bosques de galeria alternada com gramas na parte alta do trecho. Já a jusante a vegetação começa a desaparecer dando lugar as diferentes intervenções antrópicas.

Na área média do trecho se encontram dois afluentes, El Raque; que nasce a uma altitude aproximada de 3500 m, corre em direção preferencial E-W e converge depois de aproximadamente 2,2 km, no trecho de torrente Bolonia e o outro El Chorrito; que nasce a uma altitude aproximada de 3.140 m, corre em direção preferencial N-W. Possui um comprimento longitude total próximo a 1 km, desde sua nascente até o ponto onde entrega suas águas ao afluente El Raque.

O trecho Bolonia possui diferentes condições de estabilidade, em função dos materiais constitutivos das margens, e deixar dos fatores particulares enquanto à vegetação e presença de moradias, nos setores habitados, tem gerado alguns deslizamentos rotacionais e translacionais, estes estão associados à ação das cargas impostas pelas edificações, em solos instáveis, condição que se agrava em alguns setores, com a má conformação de aterros e depósito de materiais e resíduos sólidos nas margens e o escoamento inadequado das águas servidas.

Para a avaliação da metodologia, este trecho de torrente foi dividido em quatro subtrechos, os quais foram denominados: subtrecho 1B – Preservação, 2B – Ocupação agrícola, 3B – apropriação comunitária e 4B - Ocupação urbana, como pode-se observar na Figura 6.5.



Figura 6.5 - Divisão dos subtrechos do trecho de torrente Bolonia

(Fonte: Adaptado de Google Earth 2013)

- Subtrecho 1B- Preservação

Este subtrecho apresenta em sua maior parte em leito natural, fazendo parte sua nascente nos Cerros Orientais, essa área é caracterizada como área de preservação e proteção.

O subtrecho apresenta cobertura de vegetação tipo arbórea e arbustiva com diversos níveis de estratificação, em condições de baixa ou mínima intervenção, não apresenta alterações fortes onde os efeitos ou possíveis impactos antrópicos são mínimos, já que tem presença mínima de águas servidas e disposição de resíduos sólidos, como pode se observar na Figura 6.6.



Figura 6.6 - Subtrecho 1, Trecho de torrente Bolonia
(Fonte: Montagem em imagem de Google Earth 2013)

- Subtrecho 2 B- Ocupação agrícola

Este subtrecho se apresenta restrito pelo estabelecimento de bairros sobre sua faixa hidráulica e de proteção, e, conforme o estabelecido pelo Plano de Ordenamento Territorial estas faixas devem contemplar uma largura até de 30 m. Este subtrecho apresenta uma declividade superior a 30% e ausência do serviço de coleta de esgoto.

A partir da finalização da faixa ripária em alto estado de intervenção, a vegetação começa a apresentar intervenções com o desenvolvimento de atividades agrícolas, principalmente para cultivo de batata, e agropecuárias com presença de gado que geram poluição ao trecho de torrente. Igualmente apresenta locais sensíveis para disposição inadequada de resíduos sólidos e proliferação de vetores. Na Figura 6.7 são apresentadas fotografias do subtrecho 2 B.



Figura 6.7 - Subtrecho 2, Trecho de torrente Bolonia
(Fonte: Montagem em imagem de Google Earth 2013)

- Subtrecho 3 B- Apropriação comunitária

A paisagem suburbana é apresentada no trecho médio e apresenta amplas áreas de pastagens e áreas com árvores e arbustos. As pastagens são conformados por pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), raygrass (*Lolium multiflorum*) nas áreas mais úmidas. A presença de elementos arbóreos exóticos como eucalipto (*Eucalyptus globulus*), pinos e acácias (*Acacia decurrens*) é frequente. As faixas e áreas verdes nas margens do trecho são utilizadas como áreas de lazer e recreação pela comunidade.

A jusante do subtrecho foi construída uma estrutura dissipador que se liga a uma galeria de drenagem que conduz finalmente as águas à sua desembocadura no trecho de torrente Yomasa.

As condições de qualidade da paisagem e ambiental são afetadas pelo estado sanitário da bacia, que apresenta resíduos sólidos, além de um alto nível de poluição por águas servidas provenientes das moradias que se encontram localizadas perto a este subtrecho assim como

uma alta vulnerabilidade de proliferação de vetores. Nesse sentido a Figura 6.8 ilustra o que foi descrito a respeito do subtrecho 3B.

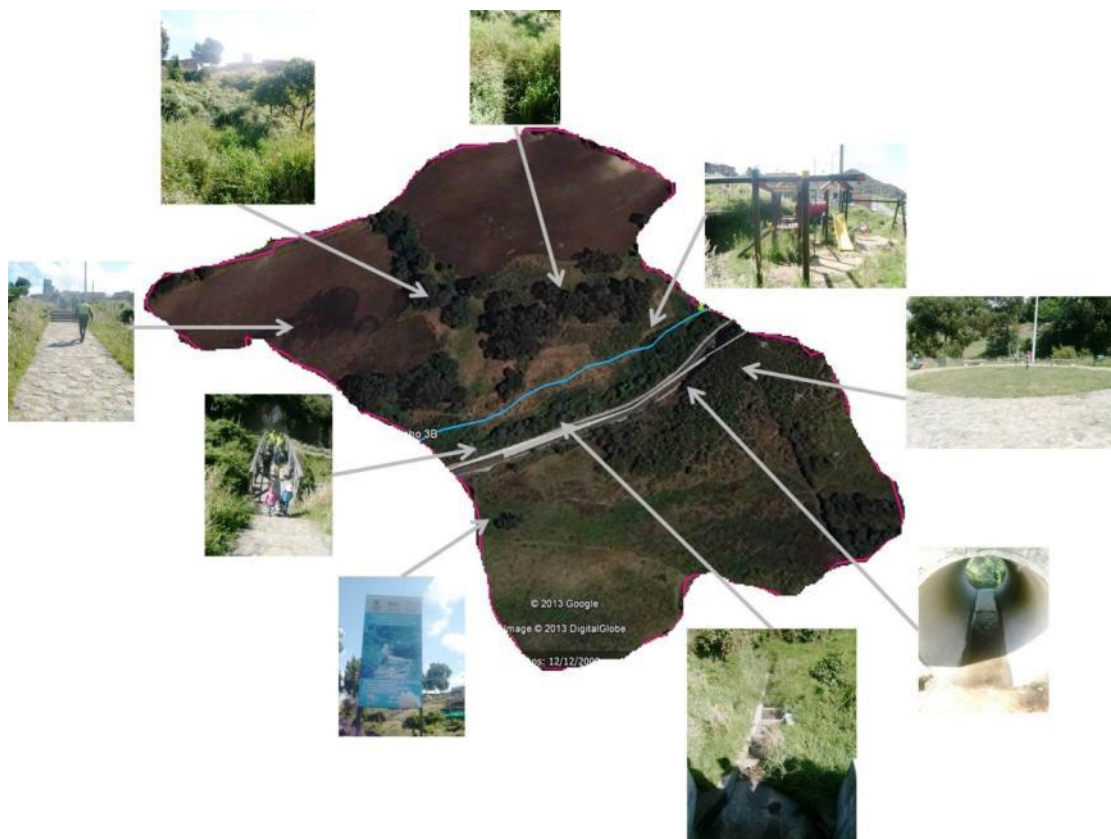


Figura 6.8 - Subtrecho 3, Trecho de torrente Bolonia
(Fonte: Montagem em imagem de Google Earth 2013)

- Subtrecho 4 B - Ocupação Urbana

Nesse subtrecho, quase a totalidade da bacia apresenta assentamentos consolidados, legalizados ou não, nas margens e faixas de proteção do curso de água, fazendo com que a intervenção antrópica seja mais evidente e a problemática de degradação e poluição do curso de água seja incrementada.

No último tramo do subtrecho o curso d'água foi desviado para ser retificado com um desvio de 90 graus, em função da construção de moradias e edificações no leito original.

Também a falta de controle de vertimento de águas residuais causa instabilidade dos terrenos e proliferação de vetores, Como é apresentado na Figura 6.9.



Figura 6.9 - Subtrecho 4, Trecho de torrente Bolonia
(Fonte: Montagem em imagem de Google Earth 2013)

6.2 Descrição do trecho de torrente Yomasa

Localiza-se na área sul do Parque Entrenubes, contendo aproximadamente 95 % da extensão total do cerro chamado Cuchilla Del Gavilán. É a microbacia com a zona de nascentes mais alta do conjunto nos Cerros Orientais (3384 m) e cujo curso principal tem uma vazão importante, antes de entrar no parque.

O trecho conta com drenagens afluentes como os trechos Arrayanal e Bolonia, que nascem nos cerros orientais e desembocam no trecho Yomasa mais baixo próximo ao parque. A Figura 6.10. mostra a localização do trecho.

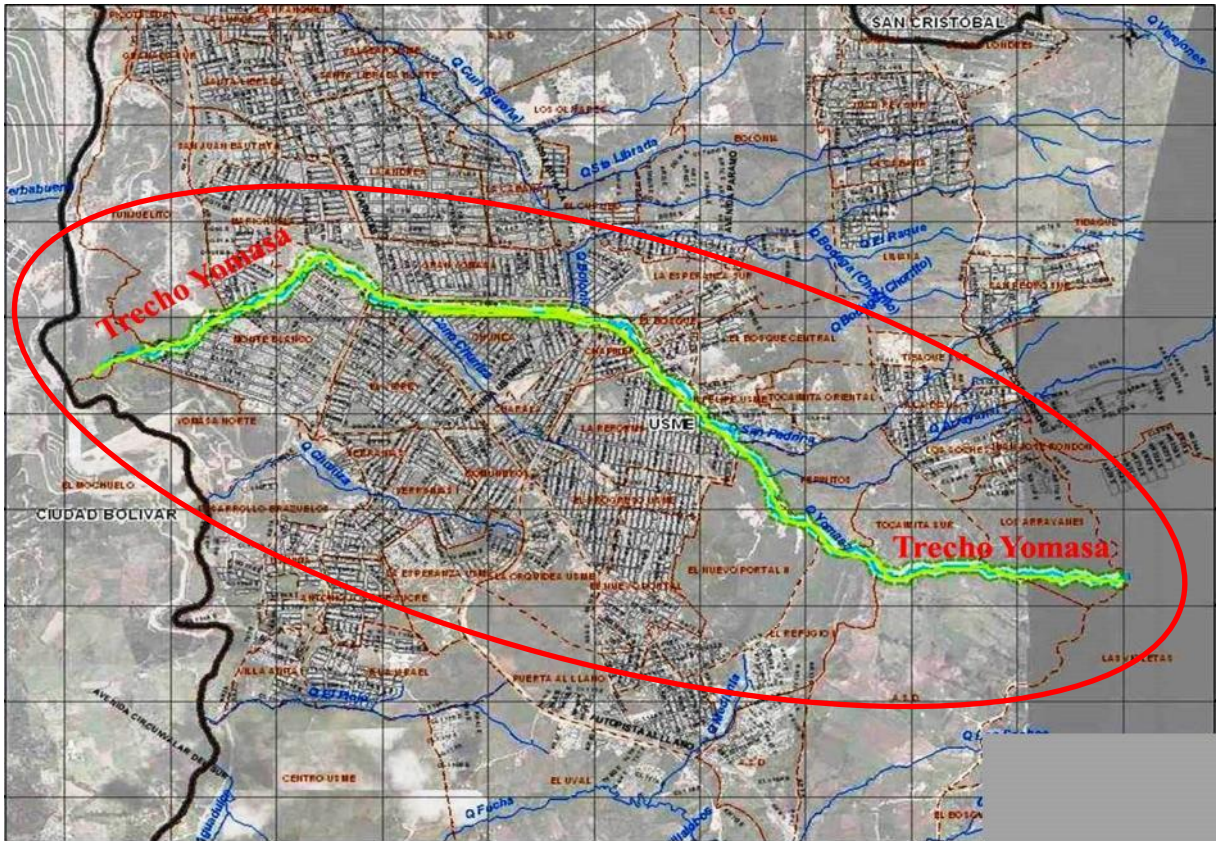


Figura 6.10 - Localização Trecho de Torrente Yomasa.

(Fonte Bogotá, 2008)

Dentro do Parque Entrenubes, o trecho Yomasa percorre 1,8 km, grande parte coberta por uma plantação de eucalipto (*Eucalyptus globulus*).

O curso de água transita pelas áreas de bosque nativo e outras destinadas à pastagem e agricultura, depois recolhe as águas servidas das moradias existentes em sua faixa de proteção. O trecho sofreu trabalhos de correção de curso com gabiões nas margens. Perto destes trabalhos, o trecho conduz sedimentos finos e ao passar pelos bairros como Chuniza seu grau de poluição se eleva notavelmente até a desembocadura no rio Tunjuelito.

Desde a área de nascente até passar pela plantação de eucalipto maior do parque, a inclinação do trecho é constante, com valor médio de 40%. Sua inclinação diminui até o ponto de encontro com o rio Tunjuelito. Neste ponto o trecho leva uma carga de poluição significativa pelo vertimento de águas servidas dos bairros que se localizam entre o parque e a desembocadura do trecho, como se observa na Figura 6.11.



Figura 6.11 - Parte alta da bacia do Trecho de torrente Yomasa, limites dos Cerros Orientais e Bairros Dona Liliana, Juan Jose Rondon
(Fonte: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2008)

Assim como o trecho de torrente Bolonia, este trecho também foi dividido em quatro subtrechos, os quais foram denominados, trecho 1Y – Preservação, 2Y – Ocupação agropecuária, 3Y – Ocupação urbana e 4Y – Atividade minerária. Os itens a seguir destacam alguns pontos da situação atual dos trechos, que podem ser observados na Figura 6.12.

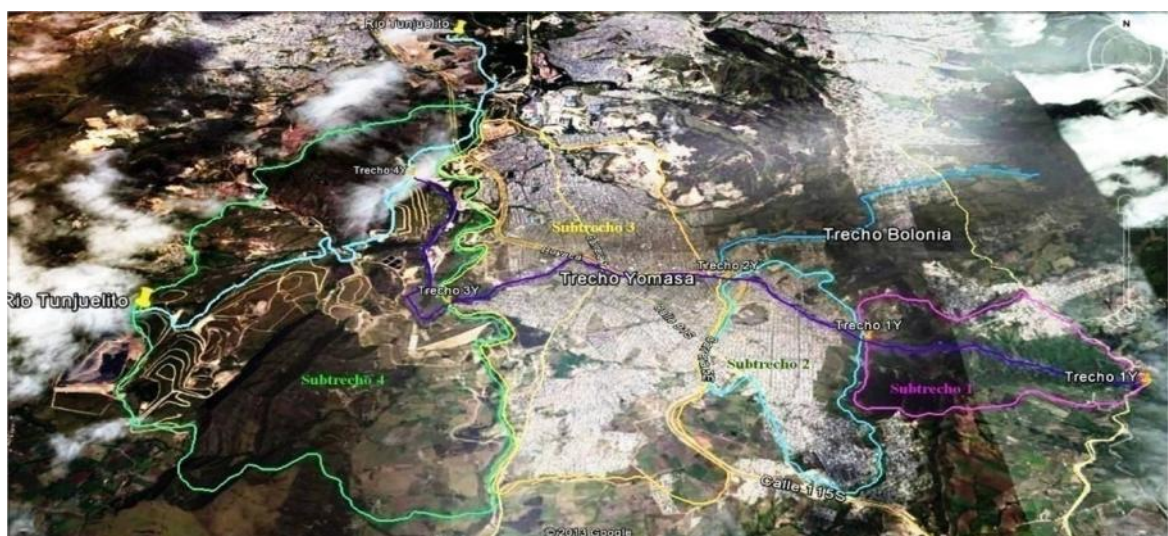


Figura 6.12 - Divisão dos subtrechos do trecho de torrente Yomasa
(Fonte: Adaptado de Google Earth 2013)

- Subtrecho 1Y- Preservação

O subtrecho é caracterizado por apresentar a maior parte de seu curso em leito natural, sendo que a nascente é localizada nos cerros orientais, atravessa uma área onde a influência humana é baixa.

Parte do subtrecho apresenta cobertura de vegetação tipo arbórea com diversos níveis de estratificação e áreas de floresta nativa e outras fortemente alteradas por diversas espécies exóticas ou invasoras de florestas artificiais de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*). Espécies de plantas daninhas associadas a cultivos têm invadido as faixas de proteção do curso de água, e outra parte destinadas a pastagem e agricultura, tendo uma presença mínima de águas servidas e disposição de recursos sólidos, como pode se observar na Figura 6.13.



Figura 6.13 - Subtrecho 1, Trecho de torrente Yomasa
(Fonte: Montagem em imagem de Google Earth 2013)

- Subtrecho 2 Y- Ocupação agrícola

Neste subtrecho a torrente é fonte de abastecimento de água para o desenvolvimento de atividades agrícolas, pecuárias e domésticas. O processo de desmatamento que vem se apresentando nesta área é responsável pela redução do recurso hídrico superficial.

O desenvolvimento desse tipo de atividades produtivas são as principais fontes de poluição do recurso hídrico, pela utilização de produtos químicos para fertilização de cultivos e controle de pragas e doenças, os quais não são manejados de forma eficiente e não há critérios claros sobre a frequência de utilização.

Igualmente esse subtrecho apresenta uma grande influência urbanística na faixa hidráulica e de proteção do trecho de torrente, além de locais suscetíveis para disposição inadequada de resíduos sólidos e proliferação de vetores. Na Figura 6.14. são apresentadas fotografias do subtrecho 2Y.



Figura 6.14 - Subtrecho 2, Trecho de torrente Yomasa
(Fonte: Montagem em imagem de Google Earth 2013)

- Subtrecho 3Y- Ocupação urbana

Nesse subtrecho a quase totalidade da bacia apresenta assentamentos consolidados nas margens e faixas de proteção do curso de água. Observa-se disposição inadequada de resíduos sólidos domésticos e vertimentos de águas servidas, o que faz com que a intervenção antrópica e o estado de degradação desse curso de água seja evidente.

O uso inadequado das águas pelas comunidades apresenta problemas como o desvio de cursos naturais de água para consumo privado ou comunitário, a invasão de faixas de proteção, o desmatamento das bacias, para desenvolvimento de atividades agropecuárias, entre outras. A Figura 6.15 ilustra a descrição do subtrecho.



Figura 6.15 - Subtrecho 3, Trecho de torrente Yomasa
(Fonte: Montagem em imagem de Google Earth 2013)

- Subtrecho 4Y- Atividade minerária

Este último subtrecho apresenta um conglomerado de indústrias de extração mineral, tanto legais como ilegais, minas abandonadas com áreas de passivo ambiental, nos quais, de acordo com a legislação vigente, deveriam estar ocorrendo processos de recuperação morfológica e ambiental.

O desenvolvimento desse tipo de atividade econômica leva à escassez de fontes hídricas, erosão de solos, mudança no uso de solo, além de gerar um incremento crescente de problemas de saúde da população moradora na área como a proliferação de vetores.

No trecho pode-se observar o desmatamento de extensas áreas de florestas, desvio e retificação dos leitos naturais, assim como o deterioração dos ecossistemas e a poluição e deterioração das fontes hídricas, aumento de sedimentos, vertimento de águas residuais, geração de resíduos sólidos perigosos.

A mudança de uso de solo está relacionada com aspectos como a mudança de solo urbano ou solo rural (agrícola ou pecuário) por uso para mineração e a privatização dos recursos naturais (fontes hídricas, florestas), ou áreas de uso comunitário, gerada pela aquisição de terras por particulares para o desenvolvimento desta atividade. A Figura 6.16. apresenta a descrição do subtrecho mencionado.

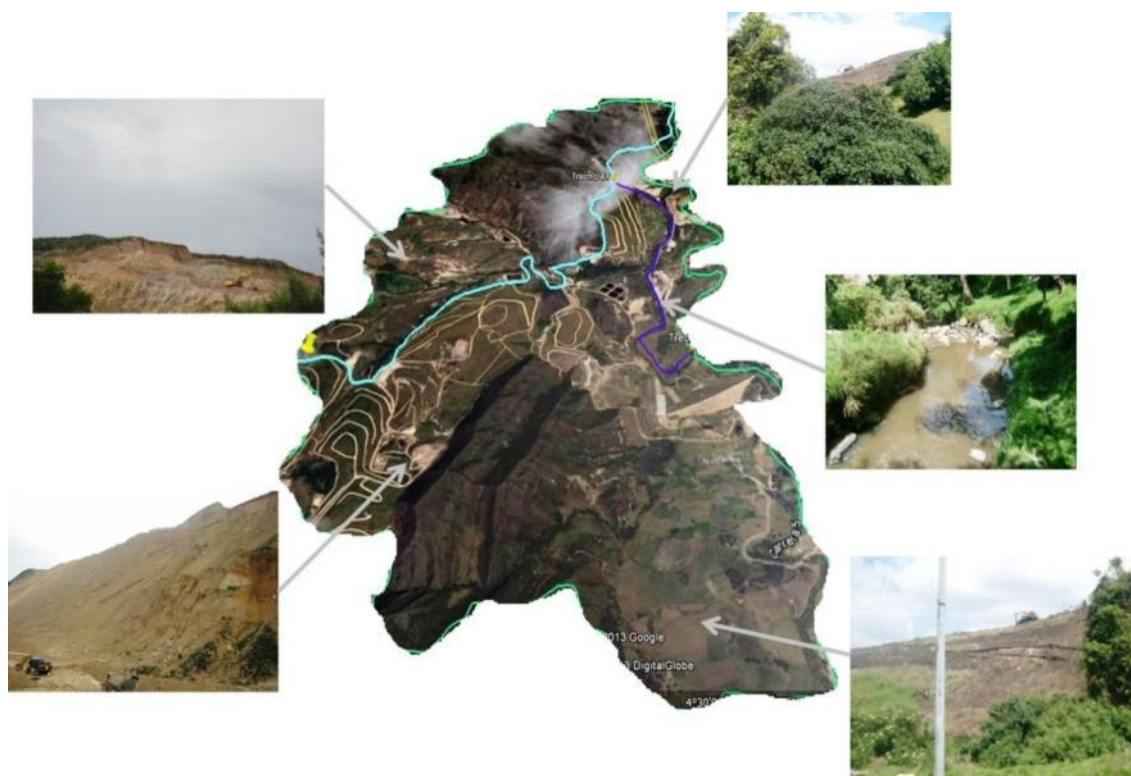


Figura 6.16 - Subtrecho 4, Trecho de torrente Yomasa
(Fonte: Montagem em imagem de Google Earth 2013)

6.3 Cálculo do Índice de Estado

6.3.1 Cálculo dos Indicadores de Estado

Os cálculos de cada um dos indicadores de Estado para os subtrechos de torrentes do estudo de caso foram feitos de acordo com a avaliação proposta no item 5.2. onde foi descrita a maneira de calcular cada um deles, os dados que subsidiam a realização da respectiva análise assim como o diagnóstico dos subtrechos foram apresentados no item 6.2.

No entanto é de considerar que a avaliação de cada indicador é subjetiva desde o ponto de vista qualitativo e da experiência do avaliador. O resultado da aplicação dos indicadores é mostrado na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Resultados do cálculo dos indicadores de estado para os diferentes subtrechos

Indicador	Subtrechos							
	1B	2B	3B	4B	1Y	2Y	3Y	4Y
Vertimento de águas residuais (I _{VAR})	0,13	0,63	0,88	1,00	0,06	0,75	1,00	0,88
Proliferação de vetores (I _{PV})	0,25	0,75	0,50	1,00	0,25	0,50	1,00	0,75
Inundação no local (I _{IL})	0,25	1,00	0,50	0	0,25	1,00	1,00	0,75
Estabilidade de margens (I _{EM})	1,00	0,25	0,75	0,25	0,75	0,50	0,25	0
Recuperação e manutenção de ecossistemas (I _{RME})	0,50	0	0,50	0	1,00	0,25	0	0,25
Modificação na vegetação (I _{MV})	0,25	1,00	0,50	0,75	0,25	0,75	1,00	0,50
Alteração das vazões (I _{AV})	0,75	0,25	0,50	0,25	1,00	0,25	0,25	0,25
Regime sedimentológico (I _{RS})	1,00	0,25	0,75	0	1,00	0,50	0	0,25

6.3.2 Ponderação dos Indicadores de Estado

A ponderação dos indicadores de Estado foi realizada especificamente para este estudo de caso. 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, professores de diversas faculdades focados no tema da pesquisa. Os resultados apresentados estabelecem uma faixa de variação do peso do indicador, de forma que o decisor possa estabelecer os pesos a serem utilizados de acordo

com as peculiaridades dos trechos de torrentes em análise e os objetivos da priorização para intervenção.

Deste modo a escolha dos profissionais para a ponderação dos indicadores foi baseada em função da área de atuação e na experiência no meio atuante, com a finalidade de obter uma avaliação multidisciplinar, abrangente e eficiente.

Nesse sentido a Figura 6.17 é apresentado a formação acadêmica dos profissionais consultados, ressaltando a relevância de um perfil de pesquisa bem multidisciplinar devido a formação de cada um deles e outro fato importante é que a maioria dos consultados tem experiência nos tema de gestão e planejamento tanto urbano como ambiental.

Perfil profissionais consultados

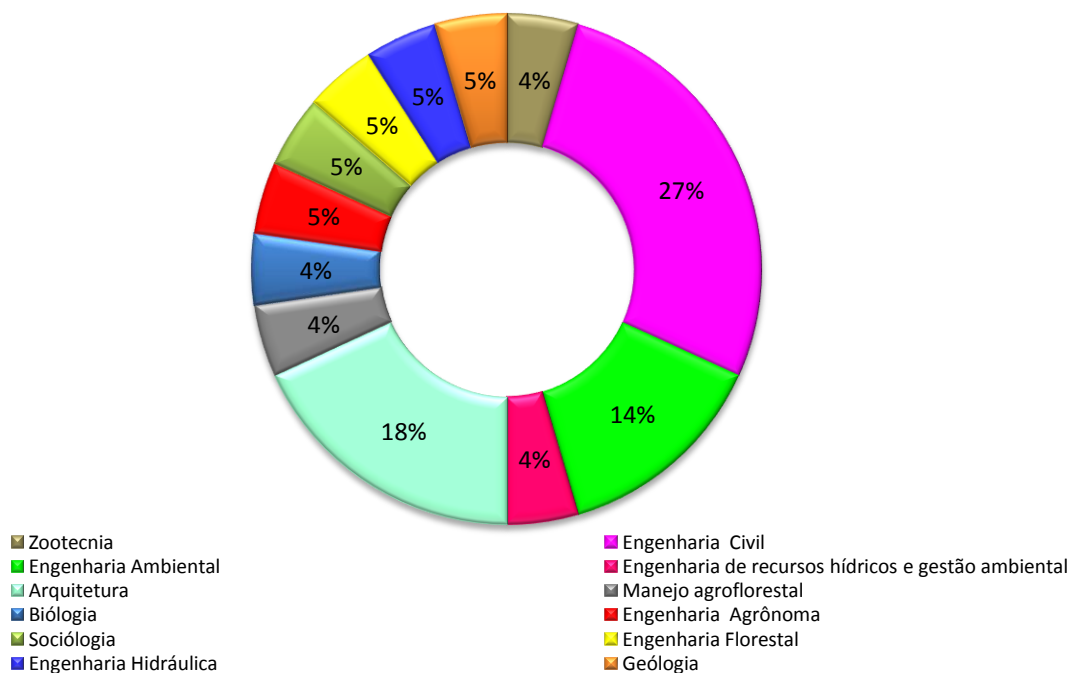


Figura 6.17 – Formação Profissional dos diferentes consultados.

Assim foi realizada a consulta junto aos profissionais dos órgãos e autoridades ambientais Ministério de Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Colômbia – MinAmbiente, Corporação Autônoma Regional de Cundinamarca – CAR, as prefeituras municipais de Bogotá, Soacha, Ricaute, às universidades Manuela Beltran – UMB, Pontificia Javeriana,

Sevicio Nacional de Aprendizagem – SENA e profissionais autônomos e empresas consultoras.

Nesse sentido a atribuição de pesos aos aspectos e indicadores foi realizada por meio da utilização de um questionário adaptado de Cardoso (2008), enviado aos decisores selecionados. O questionário apresenta uma descrição sobre a pesquisa, e uma explicação dos indicadores, compreendendo uma avaliação dos pesos e da formulação dos indicadores propostos de forma a validá-los, verificando a pertinência destes, e se for o caso excluindo ou acrescentando algum aspecto que deva ser utilizado. O questionário utilizado é mostrado no, Apêndice I.

A consulta realizada foi a atribuição de pesos às categorias de aspectos e seus respectivos indicadores, de maneira que os valores outorgados pelos profissionais a cada aspecto somasse um total de 100 pontos. Logo, o somatório dos valores dos indicadores de acordo com a relevância dentro da categoria fosse igual ao pesos dos aspectos.

Nesse contexto, foram enviados via e-mail 32 questionários, obtendo 23 respostas (1 Zootecnista, 6 Engenheiros civil, 3 Engenheiros Ambientais, 1 Engenheiro de recursos hídricos e gestão ambiental, 4 Arquitetos, 1 Profissional em manejo agro florestal, 1 Biólogo, 1 Engenheiro Agrônomo, 1 Sociólogo, 1 Engenheiro Florestal, 1 Engenheiro Hidráulico e 1 Geólogo) o que é equivalente a 72% do total distribuído, representando uma amostra relevante para o desenvolvimento dos objetivos propostos.

É importante ressaltar que com base nos pesos arbitrados, foi aplicada a média aritmética obtendo-se um resultado, e, em caso de valores fracionados foi usado o arredondamento.

Na Tabela 6.2, são apresentadas as categorias de aspectos da priorização e seus respectivos indicadores e pesos, conforme como os resultados da pesquisa realizada junto aos profissionais consultados.

Tabela 6.2 – Peso médio e coeficiente de variação (CV) dos indicadores

Aspecto	Indicador		Peso aspectos	Peso Indicador	CV % do aspecto	CV % do indicador
Sanitário	Vertimento de águas residuais (I _{VAR})		21,29	12,68	31,07	43,23
	Proliferação de vetores (I _{PV})			8,61		34,04
Risco de inundação	Inundação no local (I _{IL})		16,29	16,29	31,91	31,91
Ambiental	Estabilidade de margens (I _{EM})		22,53	8,12	37,69	45,52
	Recuperação e manutenção de ecossistemas (I _{RME})			8,58		46,03
	Modificação na vegetação (I _{MV})			5,83		31,47
Hidrológico	Alteração das vazões (I _{AV})		17,39	17,39	33,66	33,66
Sedimentológico	Regime sedimentológico (I _{RS})		22,50	22,50	27,05	23,43
Somatória dos pesos			100	100		

Verifica-se, portanto, que os coeficientes de variação foram elevados, o que era esperado devido à diversidade de fatores avaliados e a possibilidade de variação da relevância de cada aspecto, dependendo de cada cenário em avaliação e ao fato da visão e do enfoque multidisciplinar dos profissionais consultados.

Objetivando facilitar a visualização dos resultados, as Figuras 6.18 até 6.20 apresentam os pesos arbitrados pelos especialistas consultados e estatísticas básicas desses valores. Vale ressaltar que o número é referente a cada especialista consultado, e cada cor corresponde ao respectivo aspecto avaliado.

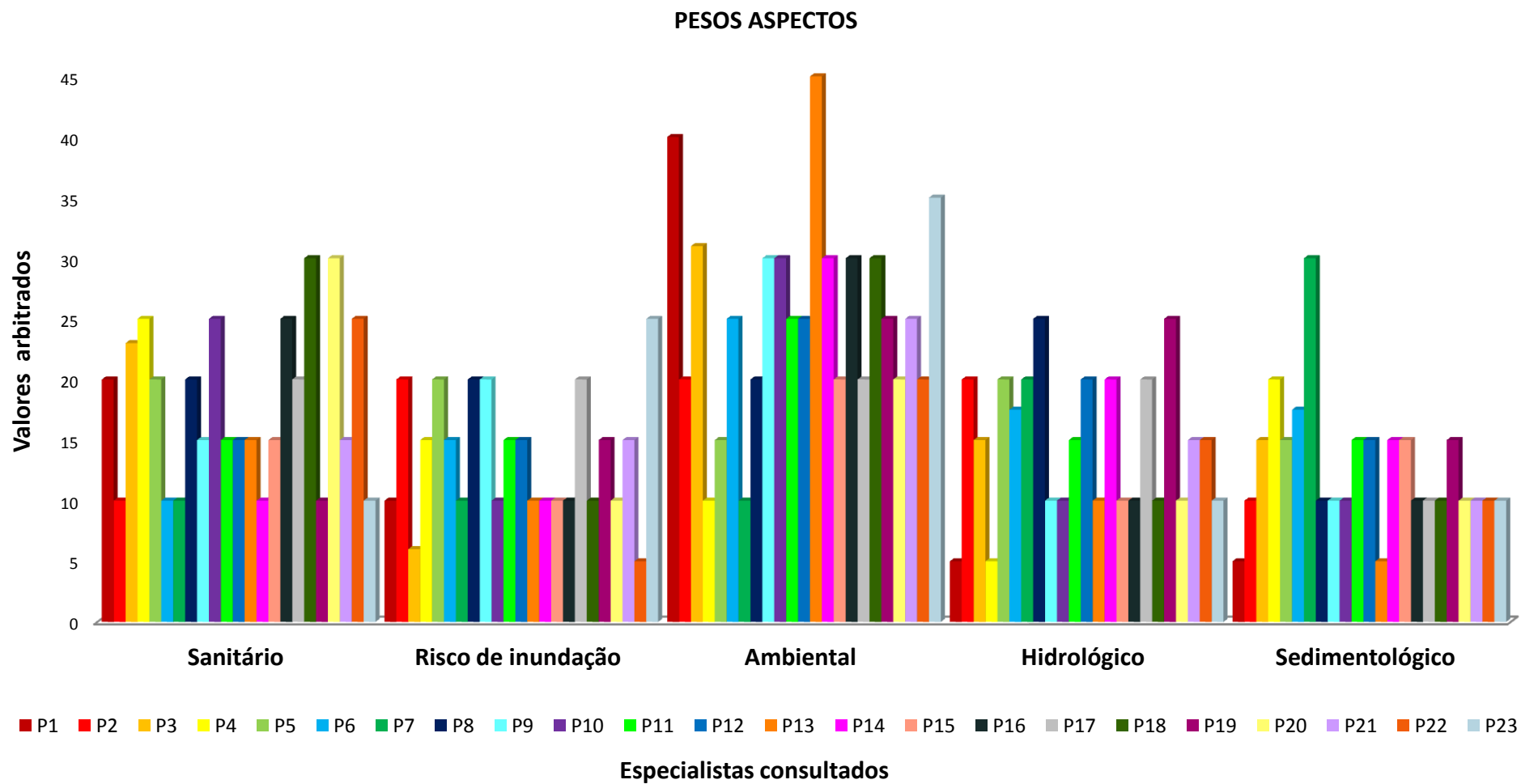


Figura 6.18 - Pesos arbitrados por cada especialista aos aspectos

MÉDIA DOS PESOS DE ASPECTOS

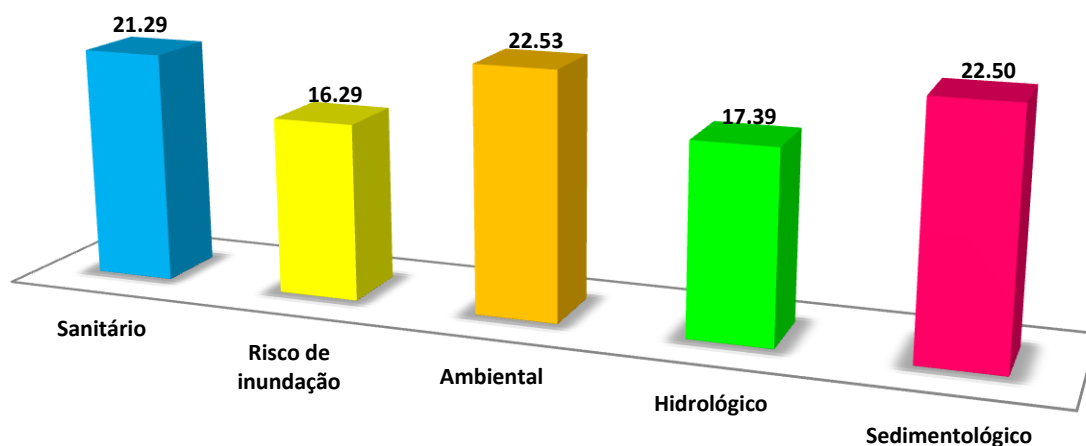


Figura 6.19 - Média dos pesos arbitrados por cada especialista aos aspectos

MÉDIA DOS PESOS DE INDICADORES DE ESTADO

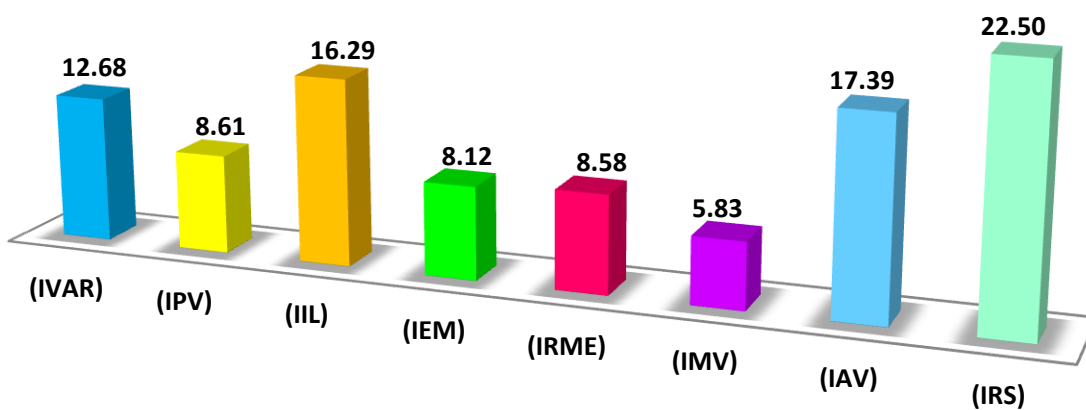


Figura 6.20 - Média dos pesos arbitrados por cada especialista aos indicadores de Estado

PESOS INDICADORES DE ESTADO

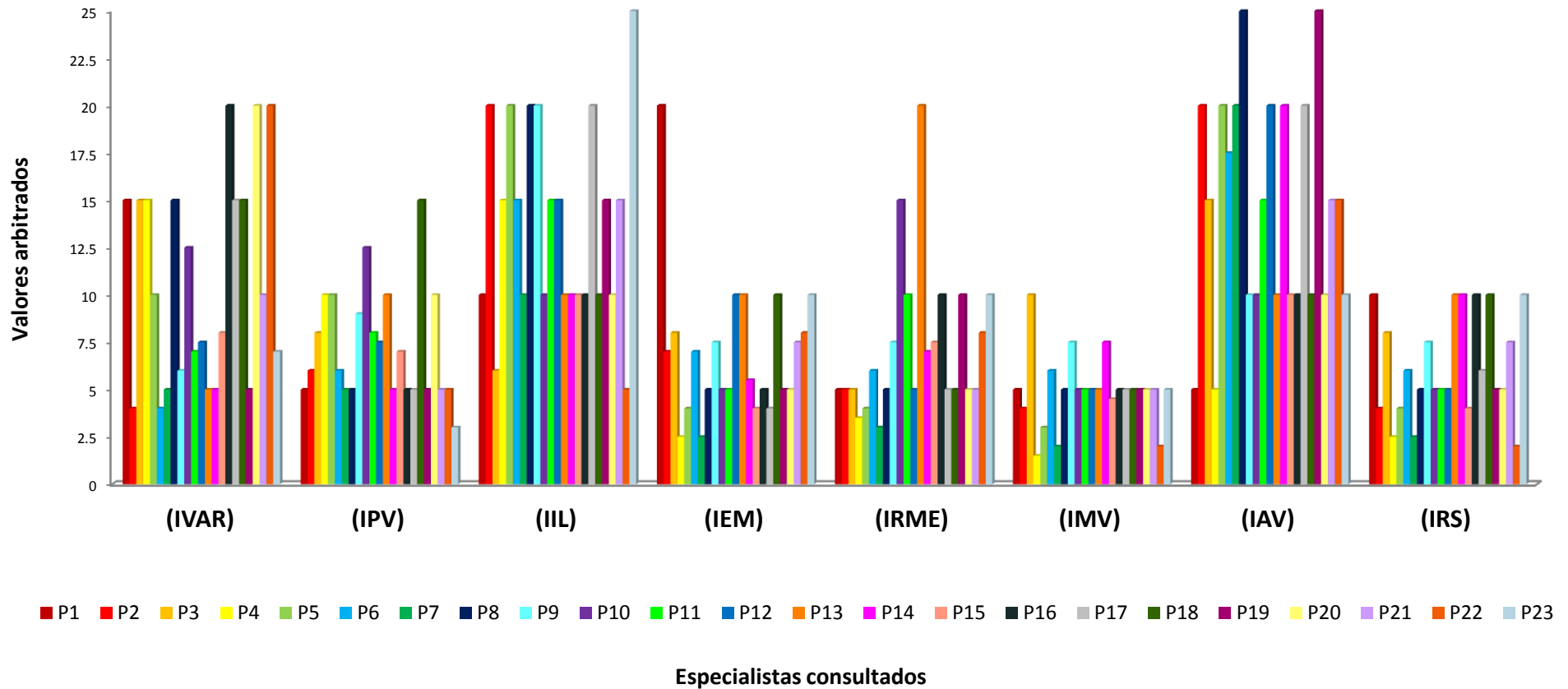


Figura 6.21 - Pesos arbitrados por cada especialista aos indicadores de Estado

A análise das informações constantes nas Figuras 6.18 até 6.23 mostram uma alta variação nas porcentagens dos pesos arbitrados pelos profissionais consultados, mostrando maior variação de interesse ou importância para o aspecto ambiental, levando em consideração que tal aspecto é de alta relevância na consecução dos objetivos propostos para os programas de conservação e preservação dos recursos naturais, conforme as diversas políticas locais estabelecidas.

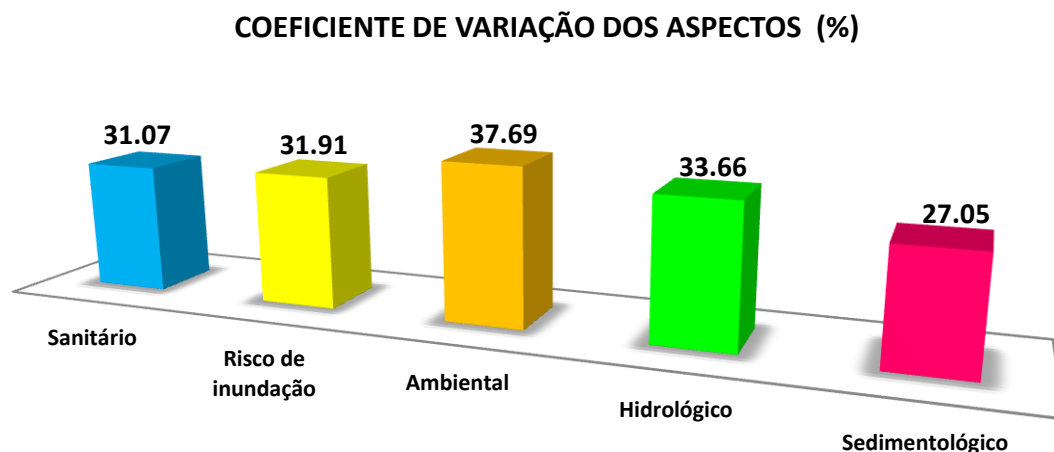


Figura 6.22 - Coeficiente de variação dos aspectos

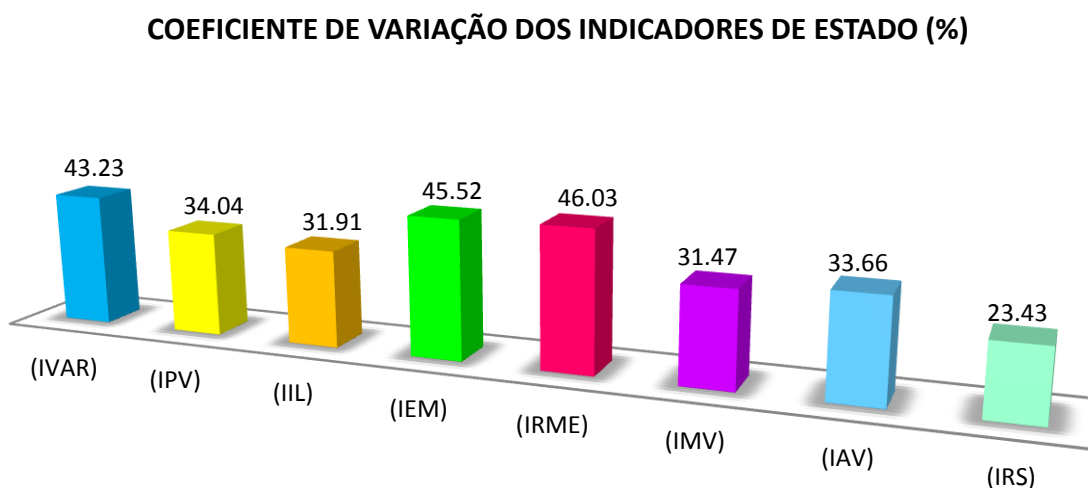


Figura 6.23 - Coeficiente de variação dos indicadores de Estado

Pôde-se observar que o indicador de alteração das vazões foi considerado o indicador com maior importância e relevância dentre o grupo de indicadores propostos na pesquisa, o que

mostra uma clara preocupação por parte dos profissionais quanto ao equilíbrio ecológico dos processos ecológicos e a preservação das águas superficiais e subsuperficiais dos trechos de torrentes.

6.3.3 Agregação dos Indicadores de Estado

A aplicação do método TOPSIS para a agregação dos indicadores de estado foi realizada utilizando-se a média dos pesos arbitrados por todos os especialistas e com coeficiente $p=2$. Sendo assim calculada a taxa de similaridade de acordo com a equação 3, descrita anteriormente no capítulo de revisão da literatura.

Como pode-se observar na Figura 6.24 são apresentados os respectivos resultados obtidos para cada um dos subtrechos em estudo.

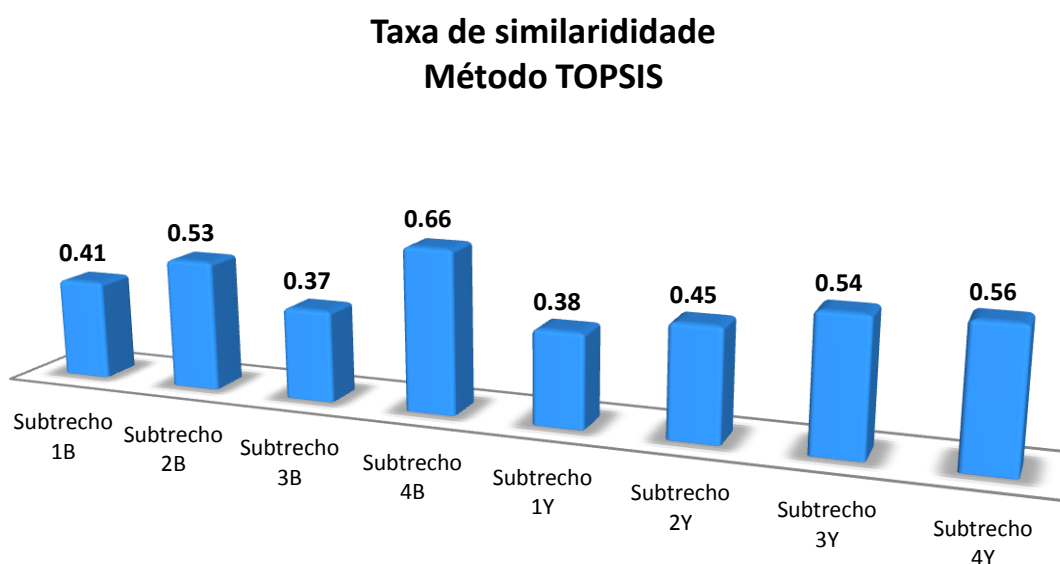


Figura 6.24 - Taxa de Similaridade dos Indicadores de Estado para os subtrechos mediante o TOPSIS

Como pode se observar na Figura, o subtrecho 4B do trecho Bolonia e o subtrecho 4Y do trecho Yomasa, depois da aplicação do método TOPSIS, são os que apresentam as maiores taxas de similaridade, sendo portanto aqueles que, sobre o ponto de vista dos indicadores de Estado, deveriam ser priorizados.

6.4 Análise do Índice de Pressão

Conforme foi mencionado no Capítulo da metodologia, a avaliação dos indicadores de pressão foi feita de forma qualitativa considerando os áreas de influência de pressão exercida principalmente na bacia hidrográfica, na faixa de proteção e o risco de assentamentos humanos, atribuindo nota de zero a um, de acordo com a perturbação atual e futura no uso do solo, em função da modificação do tipo de ocupação em relação à condição natural dos trechos de torrentes objeto desta pesquisa. Levando em conta o estabelecido, planejado e previsto dentro do Plano de Ordenamento Territorial da cidade para a área, assim como os demais planos relacionados.

6.4.1 Avaliação Indicador de Pressão Antrópica

Nesse sentido, e de acordo com a subdivisão do trecho de torrente Bolonia em quatro subtrechos, é apresentada a avaliação do indicador de pressão antrópica contemplando as áreas de influência propostas (bacia hidrográfica e faixa de proteção) para cada um deles.

6.4.1.1 Trecho de torrente Bolonia

- Subtrecho 1B – Preservação

As tabelas 6.3 e 6.4 apresentam a avaliação do indicador considerando as duas áreas de influência propostas para o subtrecho.

Tabela 6.3 – Quadro de avaliação para área de influencia da bacia hidrográfica do subtrecho 1B

Avaliação da pressão – Bacia hidrográfica					
Parâmetro	0				1
Expansão urbana				X	
Atividade agropecuária e agrícola					X
Atividade mineraria					X
Atividade industrial			X		
Adensamento demográfico					X
Avaliação final					

Tabela 6.4 – Quadro de avaliação para área de influência faixa de proteção do subtrecho 1B

Avaliação da pressão – Faixa de proteção					
Parâmetro	0				1
Expansão urbana					X
Atividade agropecuária e agrícola			X		
Atividade mineraria	X				
Atividade industrial	X				
Adensamento demográfico					X
Avaliação final					

Depois de ser analisado o subtrecho e calculada a nota de avaliação conforme descrito no Capítulo da metodologia, o valor final para a área de influência da bacia hidrográfica é 0,85, apresentando uma pressão alta devido a fatores como a presença de assentamentos humanos irregulares, a vulnerabilidade de expansão urbana, assim como o desenvolvimento de atividades econômicas tipo agropecuárias, agrícolas e de mineração, tendo todas estas atividades restrição de acordo com os usos estabelecidos e permitidos dentro do Plano de Ordenamento Territorial da cidade. Para a área de influência da faixa de proteção o valor é 0,50, considerando-se assim uma pressão média de acordo com a influência dos fatores anteriormente mencionados. A Figura 6.25 exemplifica a situação anteriormente mencionada.

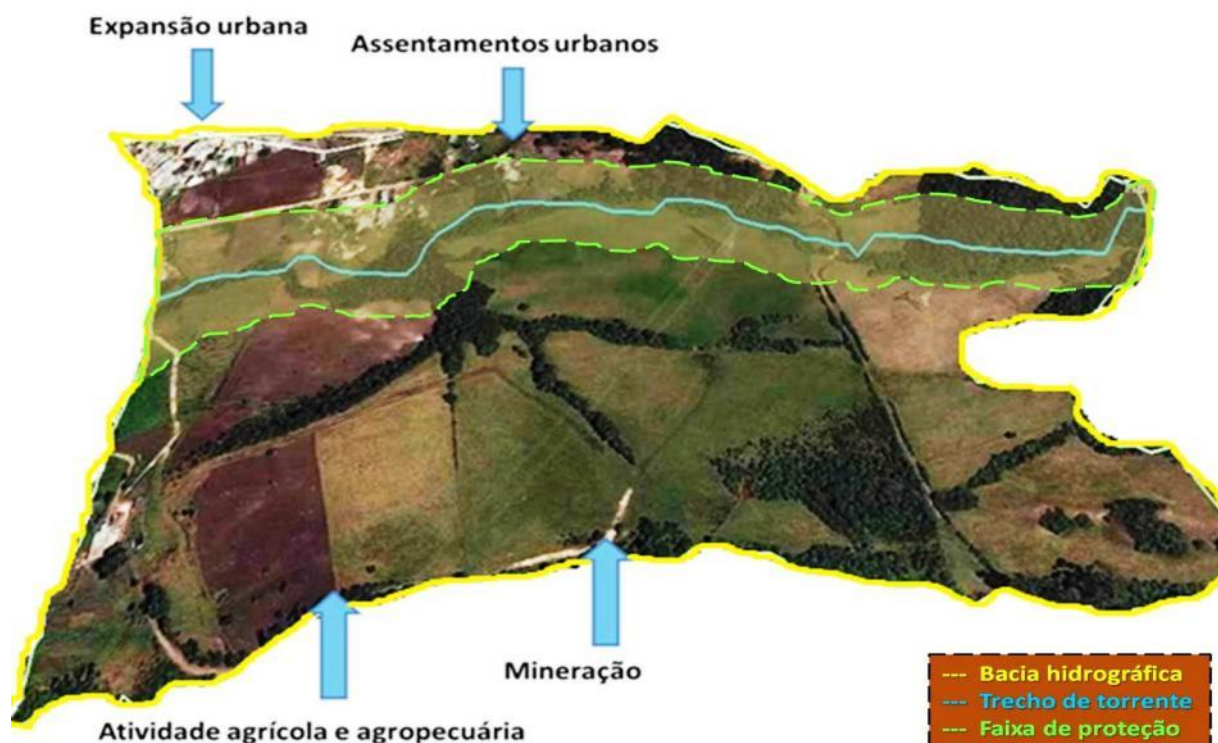


Figura 6.25 - Pressão Subtrecho 1B - Preservação

- Subtrecho 2 B- Ocupação agrícola

As tabelas 6.5 e 6.6 apresentam a avaliação do indicador considerando as duas áreas de influência propostas para o subtrecho.

Tabela 6.5 – Quadro de avaliação para área de influencia da bacia hidrográfica do subtrecho 2B

Avaliação da pressão - Bacia hidrográfica					
Parâmetro	0				1
Expansão urbana		X			
Atividade agropecuária e agrícola			X		
Atividade mineraria	X				
Atividade industrial	X				
Adensamento demográfico				X	
Avaliação final					

Tabela 6.6 – Quadro de avaliação para área de influência faixa de proteção do subtrecho 2B

Avaliação da pressão – Faixa de proteção					
Parâmetro	0				1
Expansão urbana	X				
Atividade agropecuária e agrícola		X			
Atividade mineraria	X				
Atividade industrial	X				
Adensamento demográfico				X	
Avaliação final					

Para este subtrecho aplicando a metodologia o valor final para a área de influência da bacia hidrográfica é 0,30 apresentando uma pressão baixa, considerando que a maioria dos fatores de avaliação como a vulnerabilidade por expansão urbana, desenvolvimento e crescimento demográfico a curto prazo, assim como o crescimento das atividades agropecuárias e agrícolas, já são encontrados dentro da área, sendo todas estas restritas de acordo com os usos estabelecidos e permitidos no Plano de Ordenamento Territorial da cidade. E para a faixa de proteção o valor é 0,20 considerando-se assim uma pressão baixa de acordo com a análise anteriormente mencionada. A Figura 6.26 exemplifica a situação.



Figura 6.26 - Pressão Subtrecho 2B - Ocupação agrícola

- Subtrecho 3 B- Apropriação comunitária

As tabelas 6.7 e 6.8 apresentam a avaliação do indicador considerando as duas áreas de influência propostas para o subtrecho.

Tabela 6.7 – Quadro de avaliação para área de influencia da bacia hidrográfica do subtrecho 3B

Avaliação da pressão - Bacia hidrográfica					
Parâmetro	0				1
Expansão urbana				X	
Atividade agropecuária e agrícola					X
Atividade mineraria					X
Atividade industrial		X			
Adensamento demográfico					X
Avaliação final					

Tabela 6.8 – Quadro de avaliação para área de influência faixa de proteção do subtrecho 3B

Avaliação da pressão – Faixa de proteção					
Parâmetro	0				1
Expansão urbana					X
Atividade agropecuária e agrícola					X
Atividade mineraria		X			
Atividade industrial		X			
Adensamento demográfico					X
Avaliação final					

Para este subtrecho, conforme com a metodologia mencionada anteriormente, o valor final para a área de influência da bacia hidrográfica é 0,80 apresentando uma pressão alta devido a presença dos fatores que vem sendo apresentados para a avaliação do indicador. Para a área de influência faixa de proteção o valor é 0,70 considerando-se assim uma pressão alta conforme foi descrito anteriormente. A Figura 6.27 exemplifica a situação mencionada.

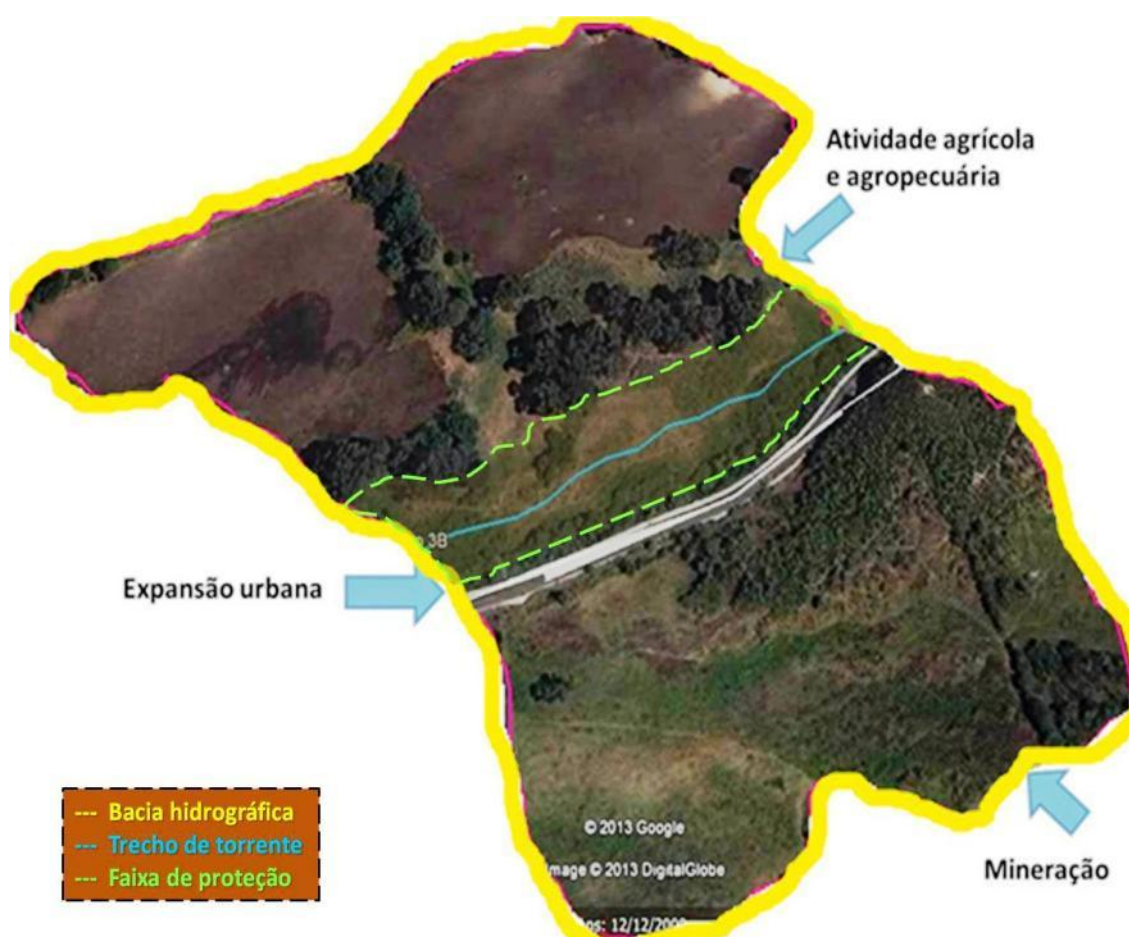


Figura 6.27 - Pressão Subtrecho 3B - Apropriação comunitária

- Subtrecho 4 B- Ocupação Urbana

As tabelas 6.9 e 6.10 apresentam a avaliação do indicador considerando as duas áreas de influência propostas para o subtrecho.

Tabela 6.9 – Quadro de avaliação para área de influencia da bacia hidrográfica do subtrecho 4B

Avaliação da pressão - Bacia hidrográfica					
Parâmetro	0				1
Expansão urbana			X		
Atividade agropecuária e agrícola				X	
Atividade mineraria					X
Atividade industrial		X			
Adensamento demográfico				X	
Avaliação final					

Tabela 6.10 – Quadro de avaliação para área de influência faixa de proteção do subtrecho 4B

Avaliação da pressão – Faixa de proteção					
Parâmetro	0				1
Expansão urbana			X		
Atividade agropecuária e agrícola		X			
Atividade mineraria	X				
Atividade industrial		X			
Adensamento demográfico					X
Avaliação final					

Para este o valor final para a área de influência da bacia hidrográfica é 0,65 apresentando uma pressão média devido à presença dos fatores de avaliação, como expansão urbana, adensamento demográfico e desenvolvimento de atividades agropecuárias e industrial. Para a área de influencia da faixa de proteção o valor é 0,40 considerando-se assim uma pressão baixa conforme descrito anteriormente. A Figura 6.28 mostra a situação mencionada.



Figura 6.28 - Pressão Subtrecho 4B - Ocupação urbana

Para finalizar a Tabela 6.11, apresenta os resultados dos Indicadores de Pressão antrópica para o trecho de torrente Bolonia, conforme com as duas áreas de influência propostas.

Tabela 6.11 – Valores dos Indicadores de Pressão antrópica para os trechos de torrente Bolonia

Bacia Hidrográfica				Faixa de Proteção			
1B	2B	3B	4B	1B	2B	3B	4B
0,85	0,30	0,80	0,65	0,50	0,20	0,70	0,40

6.4.1.2 Trecho de torrente Yomasa

De acordo com a subdivisão do trecho de torrente Yomasa em quatro subtrechos, é apresentada a avaliação do indicador de pressão para cada um deles.

- Subtrecho 1Y- Preservação

As tabelas 6.12 e 6.13 apresentam a avaliação do indicador considerando as duas áreas de influencia propostas para o subtrecho.

Tabela 6.12 – Quadro de avaliação para área de influencia da bacia hidrográfica do subtrecho 1Y

Avaliação da pressão - Bacia hidrográfica					
Parâmetro	0				1
Expansão urbana				X	
Atividade agropecuária e agrícola					X
Atividade mineraria					X
Atividade industrial		X			
Adensamento demográfico				X	
Avaliação final					

Tabela 6.13 – Quadro de avaliação para área de influência faixa de proteção do subtrecho 1Y

Avaliação da pressão – Faixa de proteção					
Parâmetro	0				1
Expansão urbana				X	
Atividade agropecuária e agrícola					X
Atividade mineraria			X		
Atividade industrial				X	
Adensamento demográfico					X
Avaliação final					

Igualmente como foi realizado anteriormente nos subtrechos do torrente Bolonia, mediante a utilização do descrito na metodologia, o valor final para a área de influência da bacia hidrográfica é 0,75, apresentando uma pressão alta devido a fatores como presença de assentamentos humanos irregulares, a vulnerabilidade de expansão urbana, adensamento demográfico assim como desenvolvimento de atividades agropecuárias, agrícolas e industrial, estas atividades têm restrição de acordo com os usos estabelecidos e permitidos dentro do Plano de Ordenamento Territorial da cidade. Para a faixa de proteção o valor é 0,80, considerando-se assim uma pressão alta de acordo com a influência dos fatores anteriormente mencionados. A Figura 6.29 exemplifica a situação anteriormente mencionada.

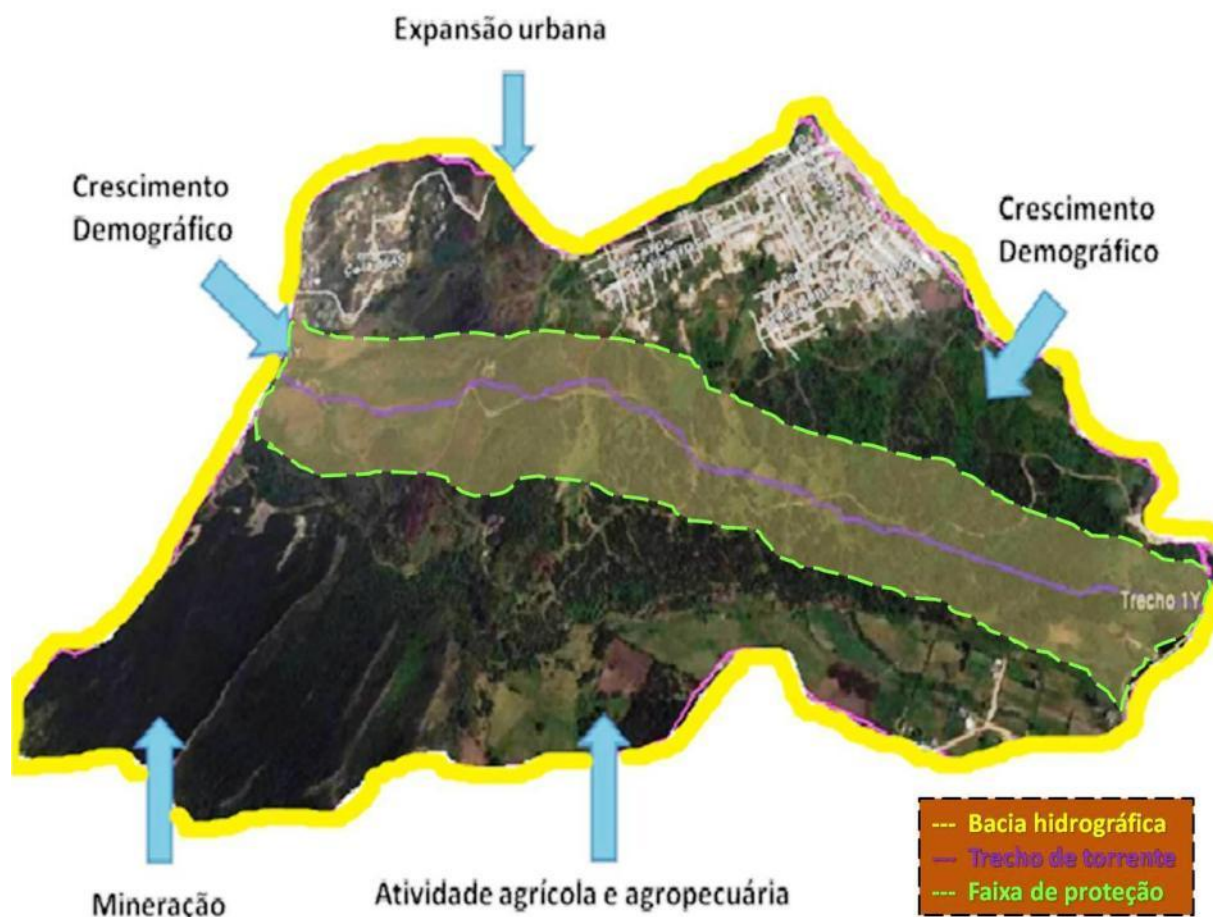


Figura 6.29 - Pressão Subtrecho 1Y - Preservação

- Subtrecho 2 Y- Ocupação agrícola

As tabelas 6.14 e 6.15 apresentam a avaliação do indicador considerando as duas áreas de influência propostas para o subtrecho.

Tabela 6.14 – Quadro de avaliação para área de influencia da bacia hidrográfica do subtrecho 2Y

Avaliação da pressão - Bacia hidrográfica					
Parâmetro	0	→			1
Expansão urbana		X			
Atividade agropecuária e agrícola		X			
Atividade mineraria		X			
Atividade industrial		X			
Adensamento demográfico				X	
Avaliação final		→			

Tabela 6.15 – Quadro de avaliação para área de influência faixa de proteção do subtrecho 2Y

Avaliação da pressão – Faixa de proteção					
Parâmetro	0	→			1
Expansão urbana		X			
Atividade agropecuária e agrícola		X			
Atividade mineraria		X			
Atividade industrial			X		
Adensamento demográfico				X	
Avaliação final		→			

Para este subtrecho o valor final para a bacia hidrográfica é 0,35, apresentando uma pressão baixa considerando que a maioria dos fatores de avaliação como a vulnerabilidade por expansão urbana, desenvolvimento e crescimento demográfico a curto prazo, assim como o crescimento das atividades agropecuárias e agrícolas, já são encontrados dentro da área, sendo todas estas restritas de acordo com os usos estabelecidos e permitidos no Plano de Ordenamento Territorial da cidade. Na faixa de proteção o valor é 0,40 considerando-se assim uma pressão baixa de acordo com a análise anteriormente mencionada. A Figura 6.30 exemplifica a situação.



Figura 6.30 - Pressão Subtrecho 2Y - Ocupação agrícola

- Subtrecho 3 Y- Ocupação urbana

As tabelas 6.16 e 6.17 apresentam a avaliação do indicador considerando as duas áreas de influência propostas para o subtrecho.

Tabela 6.16 – Quadro de avaliação para área de influencia da bacia hidrográfica do subtrecho 3Y

Avaliação da pressão - Bacia hidrográfica					
Parâmetro	0				1
Expansão urbana		X			
Atividade agropecuária e agrícola			X		
Atividade mineraria				X	
Atividade industrial		X			
Adensamento demográfico			X		
Avaliação final					

Tabela 6.17 – Quadro de avaliação para área de influência faixa de proteção do subtrecho 3Y

Avaliação da pressão – Faixa de proteção					
Parâmetro	0				1
Expansão urbana		X			
Atividade agropecuária e agrícola		X			
Atividade mineraria	X				
Atividade industrial		X			
Adensamento demográfico		X			
Avaliação final					

Para este subtrecho mediante a utilização do descrito na metodologia o valor final para a área de influência da bacia hidrográfica é 0,45. Para a faixa de proteção o valor é 0,20 considerando-se assim uma pressão baixa de acordo com a análise anteriormente mencionada. A Figura 6.31 exemplifica a situação.

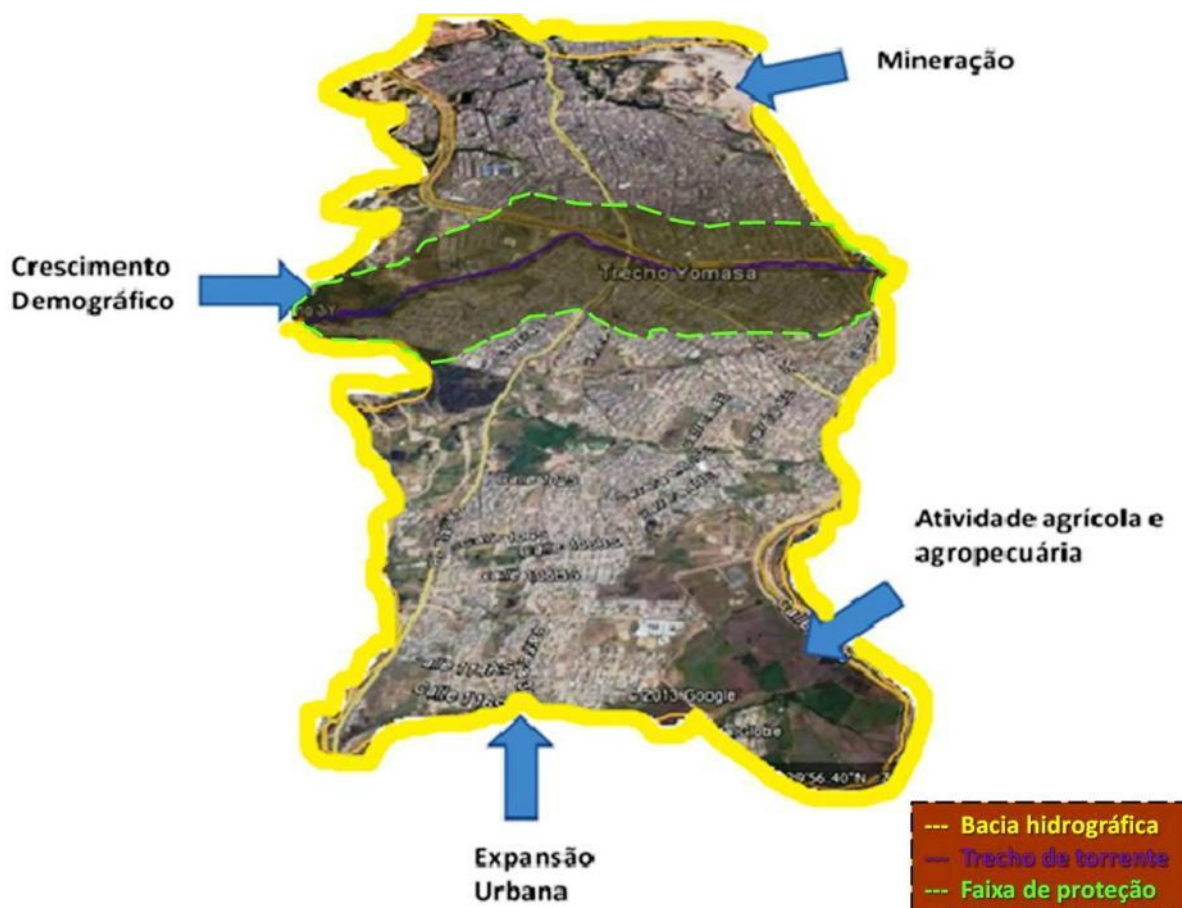


Figura 6.31 - Pressão Subtrecho 3Y - Ocupação urbana

- Subtrecho 4 Y- Atividade minerária

As tabelas 6.18 e 6.19 apresentam a avaliação do indicador considerando as duas áreas de influencia propostas para o subtrecho.

Tabela 6.18 – Quadro de avaliação para área de influencia da bacia hidrográfica do subtrecho 4Y

Avaliação da pressão - Bacia hidrográfica					
Parâmetro	0	→			1
Expansão urbana					X
Atividade agropecuária e agrícola					X
Atividade mineraria					X
Atividade industrial				X	
Adensamento demográfico					X
Avaliação final					→

Tabela 6.19 – Quadro de avaliação para área de influência faixa de proteção do subtrecho 4Y

Avaliação da pressão – Faixa de proteção					
Parâmetro	0				1
Expansão urbana					X
Atividade agropecuária e agrícola					X
Atividade mineraria					X
Atividade industrial				X	
Adensamento demográfico					X
Avaliação final					

Mediante a utilização do descrito na metodologia o valor final para a área de influência da bacia hidrográfica é 0,95, apresentando uma pressão alta devido a presença dos fatores de avaliação anteriormente descritos Já para a faixa de proteção o valor é 0,95, considerando-se assim uma pressão alta de acordo com a influencia dos fatores anteriormente mencionados. A Figura 6.32 mostra a situação antes descrita.



Figura 6.32 - Pressão Subtrecho 4Y - Atividade Minerária

Finalizando, a Tabela 6.20, apresenta o resumo das notas arbitradas para o indicador de Pressão antrópica subtrecho do Trecho de torrente Yomasa. Conforme com as duas áreas de influencia propostas.

Tabela 6.20 – Valores dos Indicadores de Pressão antrópica para os trechos de torrente Yomasa

Bacia Hidrográfica				Faixa de Proteção			
1Y	2Y	3Y	4Y	1Y	2Y	3Y	4Y
0,75	0,35	0,45	0,95	0,80	0,40	0,20	0,95

6.4.2 Avaliação Indicador Social

Continuando com a avaliação da Pressão o outro indicador a ser avaliado é o social, considerando o risco de assentamentos humanos na área de influência dos trechos de torrentes objetos de esta pesquisa.

Nesse sentido, a avaliação deste indicador foi feita mediante a utilização da equação 8, descrita no capítulo da metodologia desta pesquisa, já que para o caso não se possuía os dados de população para a área em estudo, estes foram calculados em função da área de risco e de influência dos assentamentos humanos existentes, com base aos resultados são apresentados na tabela 6.21 a seguir.

Tabela 6.21 – Resultados do Indicador social – Risco de assentamentos humanos (I_{RAH}) para os trechos Bolonia e Yomasa

1B	2B	3B	4B	1Y	2Y	3Y	4Y
0,90	0,72	1,00	0,43	1,00	0,85	0,93	1,00

6.4.3 Agregação dos indicadores de Pressão

Para os indicadores de Pressão, foi feita a aplicação do método TOPSIS para a agregação destes mediante a utilização de valores dos pesos definidos, como 40% para o indicador de pressão para a área de influência que contempla a Bacia hidrográfica, 40% contemplado para faixa de proteção e 20% para o risco de assentamentos humanos. Nesse contexto foi calculada a taxa de similaridade de acordo com a equação 3, descrita anteriormente no capítulo de revisão da literatura. Como pode-se observar na Figura 6.33 são apresentados os resultados obtidos da Taxa de similaridade, que representa o Índice de Pressão, para cada um dos subtrechos objeto desta pesquisa.

Índice de Pressão

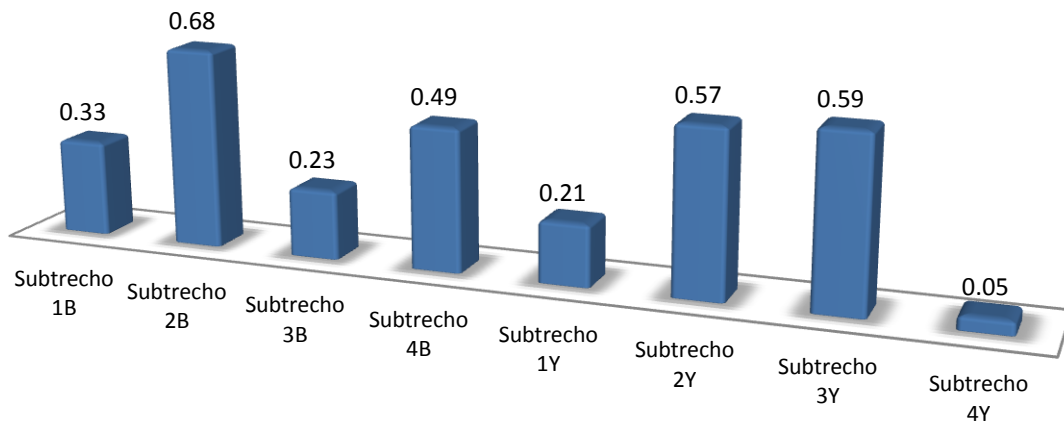


Figura 6.33 - Índices de Pressão para os subtrechos

Depois da avaliação deste índice, pode-se considerar que a situação de pressão que sofrem na atualidade os trechos de torrentes em geral é alta, devido a incidência tanto de falta de fiscalização como de falta de planejamento na ocupação e uso do solo, o desordenado processo de urbanização, sem nenhum tipo de parâmetros e condições técnicas, os diferentes conflitos por uso de solo para desenvolvimento de diferentes atividades comerciais, industriais, agropecuárias, de exploração mineraria que são realizadas nas áreas dos trechos de torrentes, as quais tem algum tipo de restrição por parte do Plano de Ordenamento Territorial da cidade. Igualmente, o alto grau de vulnerabilidade de risco é evidenciado constantemente para os moradores das áreas adjacentes aos cursos de água. Devido às diferentes atividades antrópicas presentes..

6.5 Avaliação Priorização versus Pressão

De acordo com a metodologia proposta 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. Esse cruzamento é apresentado na Figura 6.34.

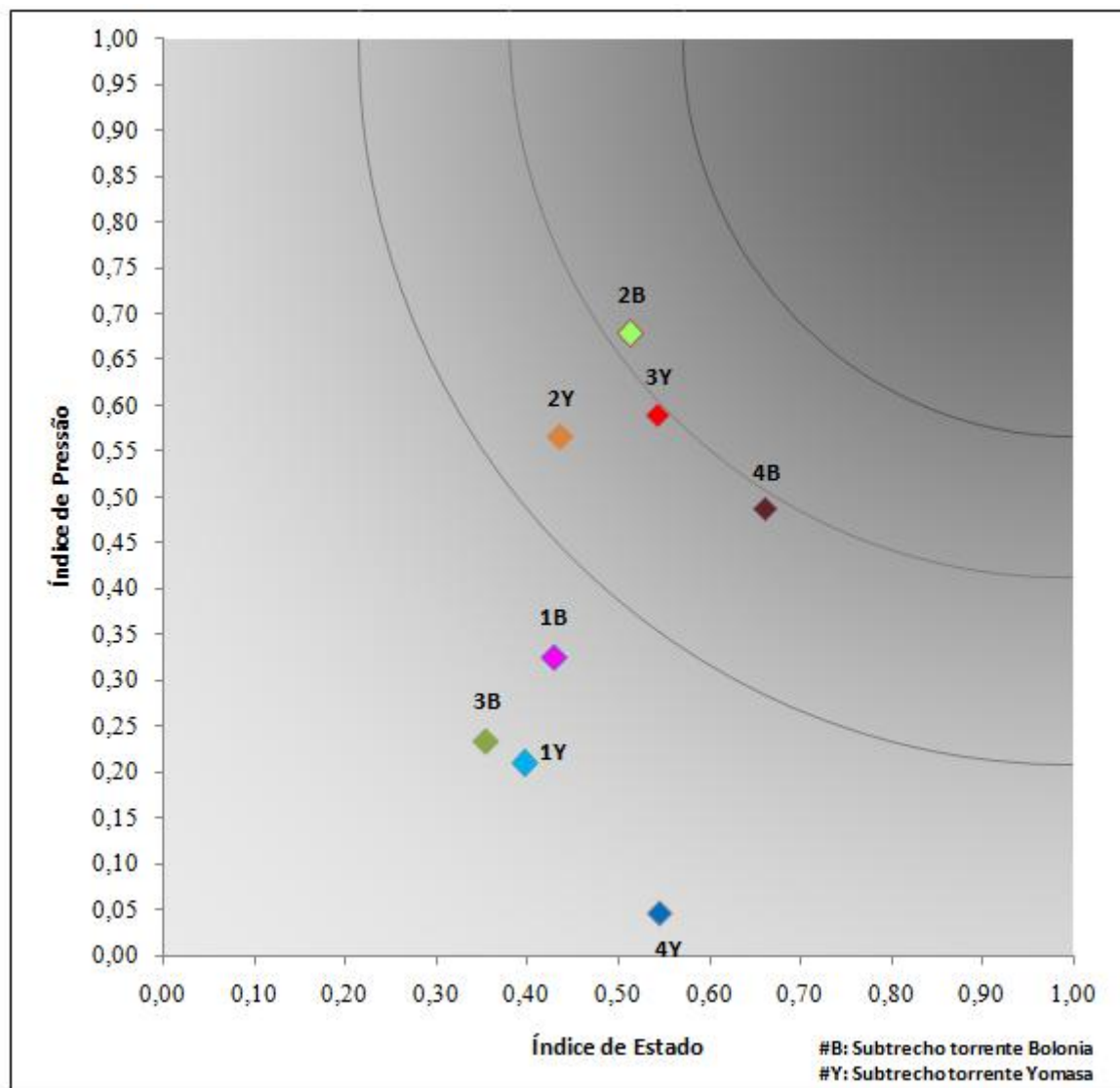


Figura 6.34 - Comparação Índice de Pressão *versus* Índice de Estado

A melhor avaliação tanto para o Índice de Estado, quanto para o Índice de Pressão é no sentido decrescente, portanto devem ser priorizados aqueles trechos com situação mais precária, e que sofrem maiores pressões ou seja aqueles com valores mais próximos a 1 ou seja, próximos do canto direito superior do gráfico. Nesse contexto os subtrechos 2B e 4B do torrente Bolonia e 3Y do torrente Yomasa são os subtrechos mais prioritários, que precisariam receber intervenções por parte das autoridades locais para o melhoramento das condições dos mesmos. Estes vêm seguidos dos subtrechos 2Y, 1B, 1Y, 3B e 4Y, nessa ordem.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão analisados os resultados obtidos a partir da priorização de intervenções propostas para o estudo de caso.

Conforme já mencionado no capítulo anterior, a ordem de prioridade de intervenção nos subtrechos é 2B, 3Y, 4B, 2Y, 1B, 1Y, 3B e 4Y , entretanto ressalta-se que a metodologia servirá para auxiliar os decisores quanto à tomada de decisões, cabendo a este a decisão final.

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.

Segundo Azzout (1996), a análise de sensibilidade é indispensável à finalização do trabalho de análise multicritério, já que permite aos diferentes atores do processo decisório fazer valer o seu ponto de vista e, sobretudo, verificar o seu impacto no resultado final. A finalidade desta consiste em realizar as análises multicritério variando determinados parâmetros e verificando quais são os mais sensíveis e que condicionam a classificação final da hierarquização. No presente estudo de caso os parâmetros que têm maior impacto são os pesos dos indicadores de estado. Para a análise de sensibilidade variou-se a ponderação destes indicadores em função dos quatro grupos de instituições as quais os respondentes do questionário representam.

A ponderação dos indicadores foi realizada para cada subtrecho de acordo com cada área de atuação dos especialistas consultados: pesquisadores de instituições educativas (universidades), representantes de órgãos e agências ambientais (autoridade ambiental), representantes de administrações públicas (prefeituras) e representantes de empresas de consultorias (consultorias), os resultados são apresentados nas Figuras 7.1 e 7.2, e as Figuras 7.3 e 7.4 apresentam os diferentes coeficientes de variação calculados tanto para os aspectos como para os indicadores.

Médias dos Pesos dos Indicadores de Estado por área de atuação

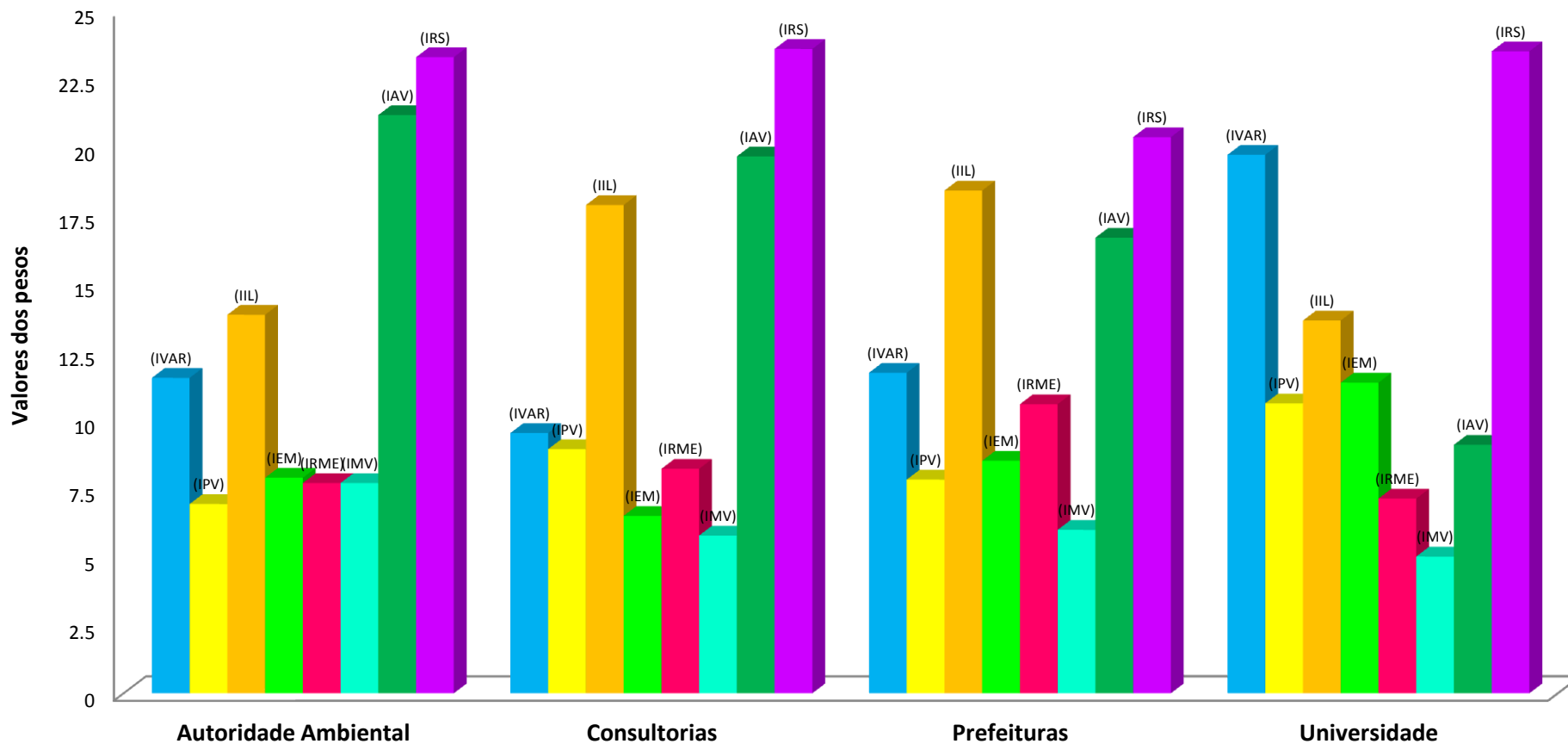


Figura 7.1 - Médias dos pesos dos Indicadores de Estado por área de atuação

Médias dos Pesos dos Aspectos por área de atuação

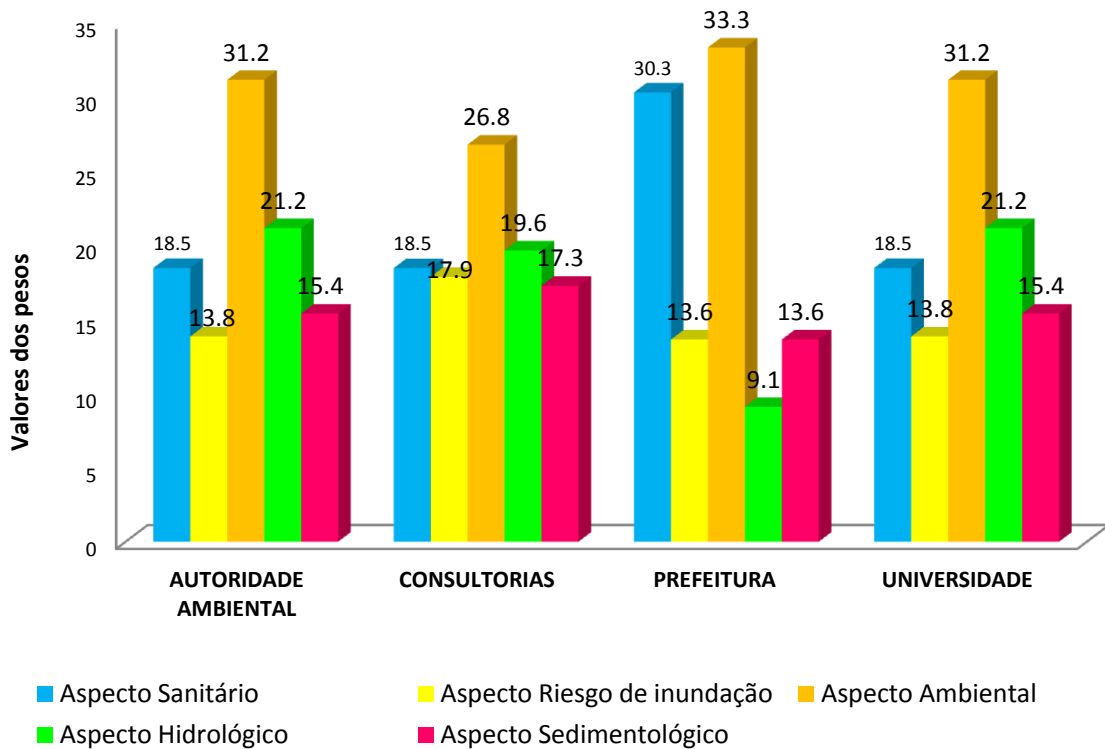


Figura 7.2 - Médias dos pesos dos aspectos por área de atuação

Coefficiente de variação dos Pesos dos Aspectos por área de atuação

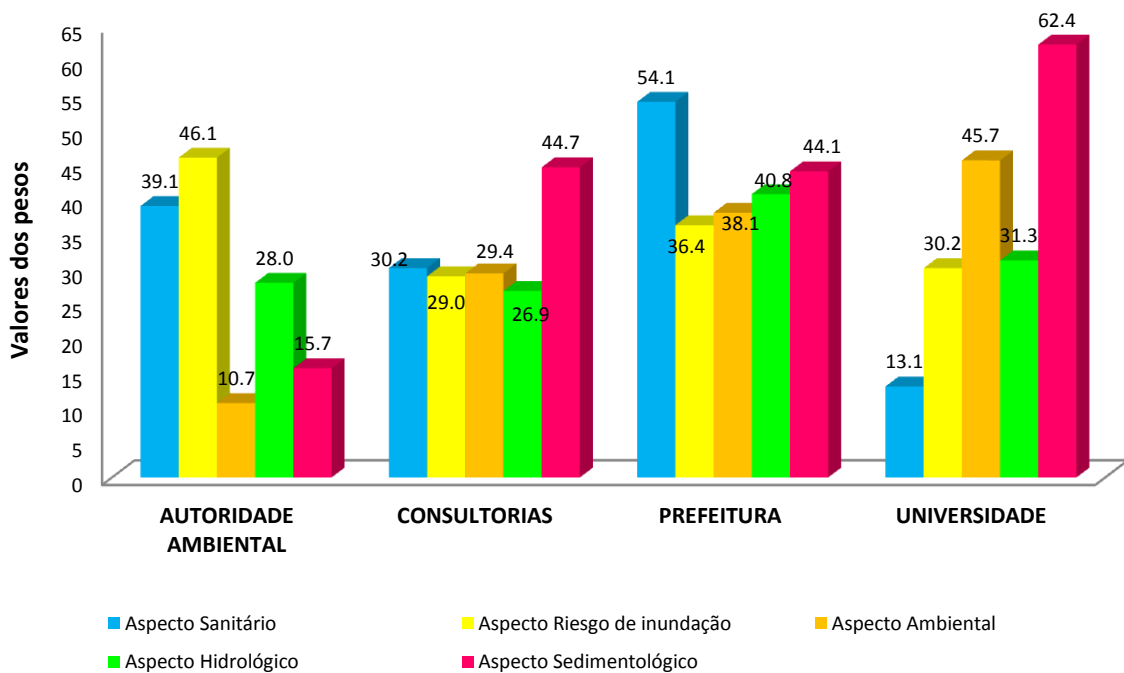


Figura 7.3 - Coeficiente de variação dos pesos dos aspectos por área de atuação

Coeficiente de variação dos Pesos dos Indicadores de Estado por área de atuação

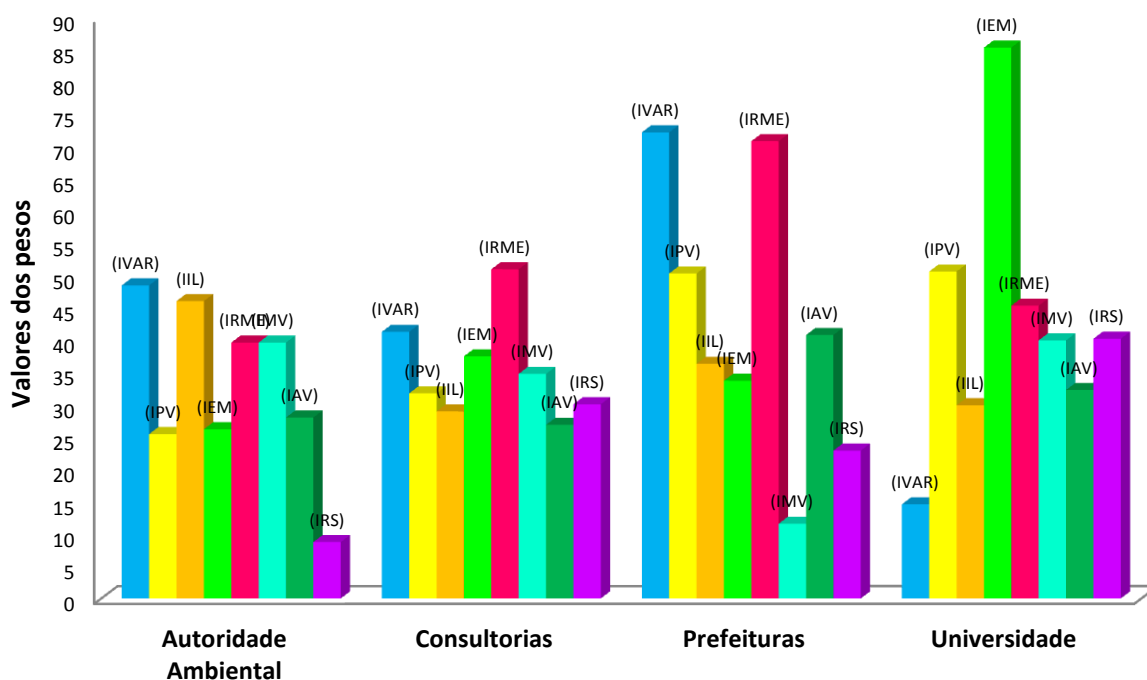


Figura 7.4 - Coeficiente de variação dos pesos dos indicadores de Estado por área de atuação

A Figura 7.5 mostra uma comparação da média geral dos pesos dos Indicadores de Estado *versus* a média dos pesos de indicadores da área de atuação, arbitrados pelos profissionais, neste caso provenientes das universidades.

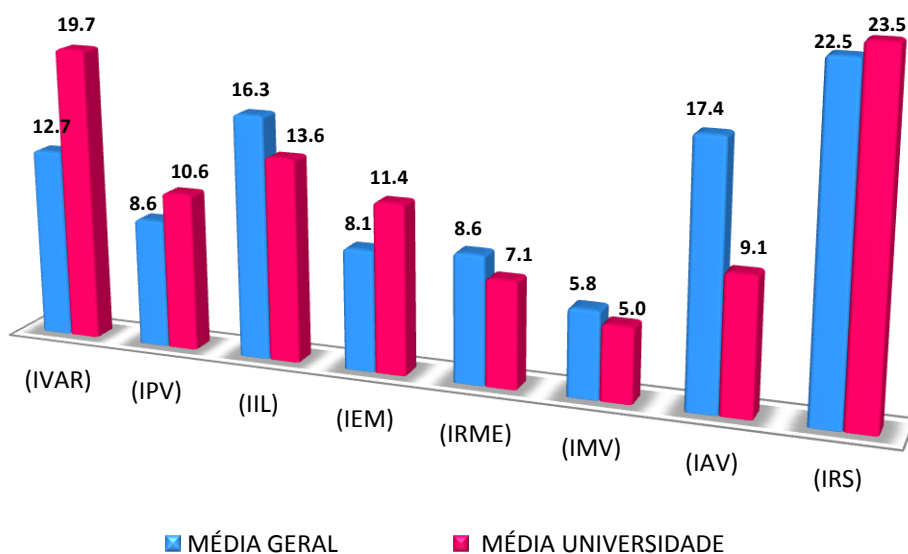


Figura 7.5 - Média geral dos pesos indicadores *versus* média área de atuação – Universidade

A Taxa de Similaridade ($D_p(ai)$) foi calculada para todos os subtrechos com a ponderação dada pelos representantes das universidades, sendo apresentados os resultados na Figura 7.6.

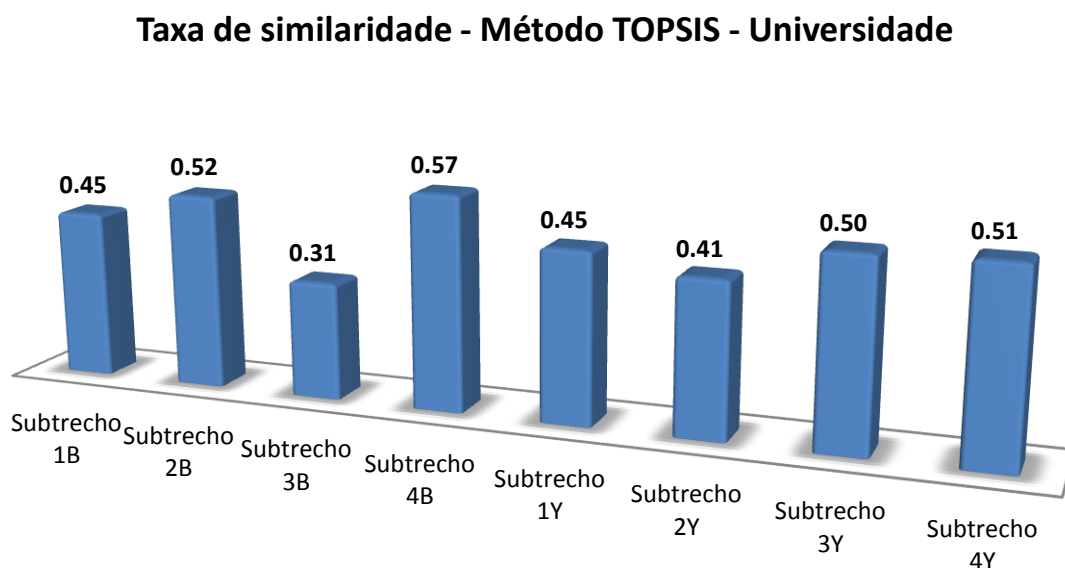


Figura 7.6 - Taxa de Similaridade para os subtrechos de acordo com área de atuação – Universidade

Nesse contexto e conforme resultados dos gráficos anteriormente apresentados é de levar em consideração que para os profissionais consultados na área acadêmica, os indicadores de vertimento de águas residuais e regime sedimentológico, têm maior relevância e importância dentro do processo de priorização das intervenções.

Já a Figura 7.7 apresenta a comparação da média geral dos pesos dos Indicadores de Estado *versus* a média dos pesos de indicadores da área de atuação, arbitrados pelos profissionais para caso de representantes das autoridades ambientais.

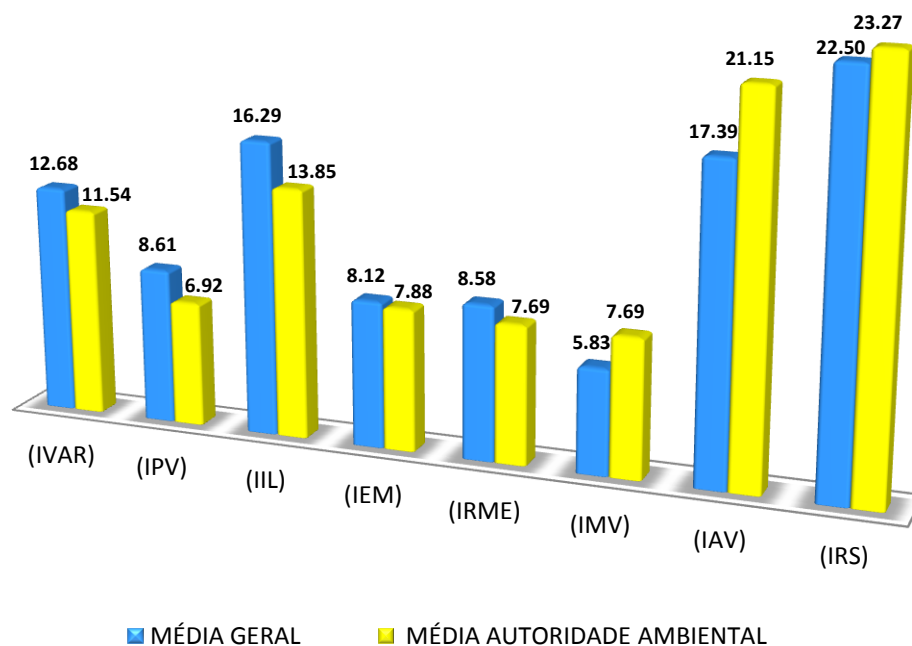


Figura 7.7 - Média geral pesos indicadores *versus* média área de atuação – Autoridades ambientais

O valor da Taxa de Similaridade, calculado mediante o método TOPSIS, é apresentado na Figura 7.8.

Taxa de similaridade - Método TOPSIS - Autoridade Ambiental

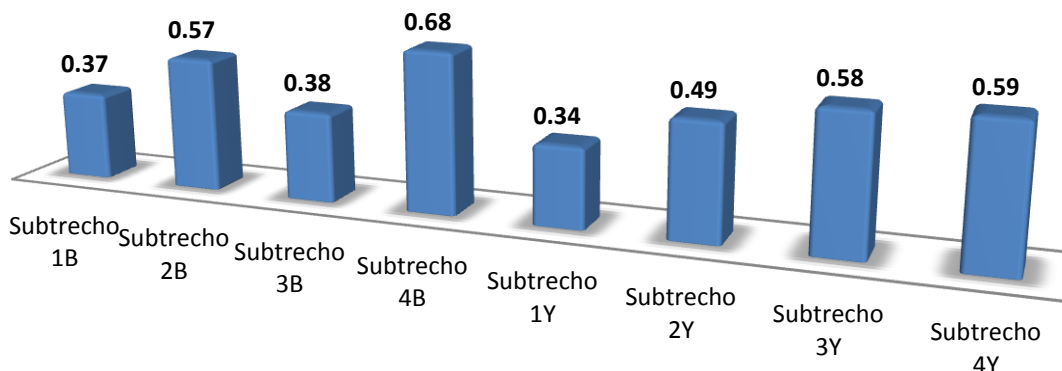


Figura 7.8 - Taxa de Similaridade para os diferentes subtrechos – área de atuação autoridade ambiental

Para os profissionais consultados correspondentes às autoridades ambientais os indicadores de regime sedimentológico e alteração das vazões são de maior importância o que mostra uma preocupação decorrente, talvez, da péssima qualidade do recurso, pela poluição e degradação do mesmo.

Por sua vez, a Figura 7.9 apresenta a comparação da média geral dos pesos dos indicadores de estado *versus* a média dos pesos de indicadores da área de atuação, arbitrados pelos profissionais da área de consultoria.

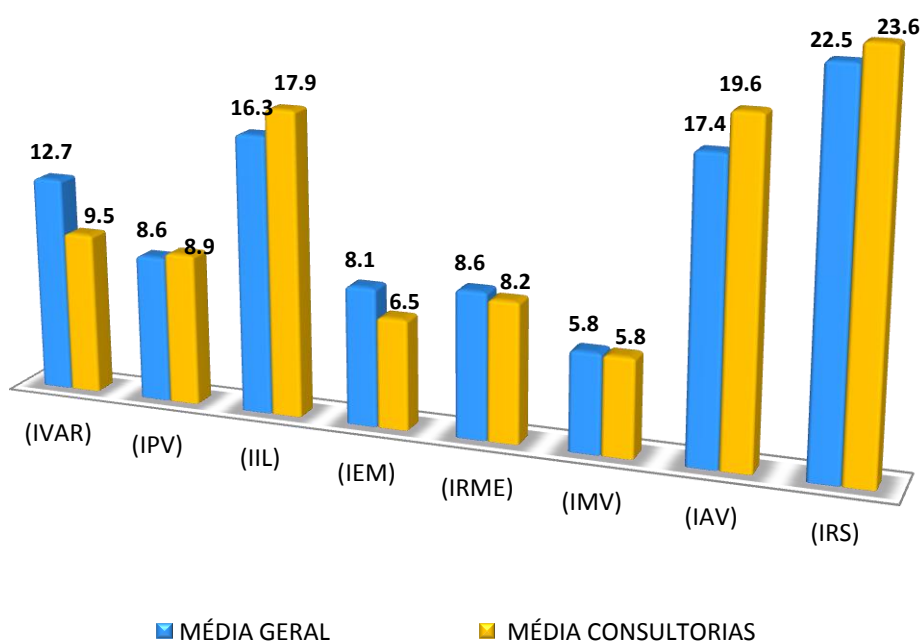


Figura 7.9 - Média geral pesos indicadores *versus* média área de atuação - Consultorias

Igualmente como nos casos anteriores foi calculado o valor da Taxa de Similaridade com o método TOPSIS, os resultados são apresentados na Figura 7.10.

Taxa de similaridade - Método TOPSIS - Consultoria

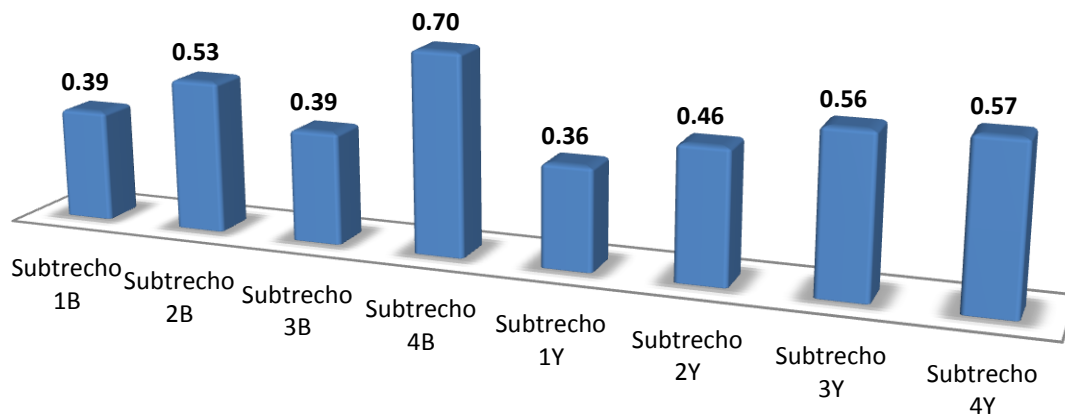


Figura 7.10 - Taxa de Similaridade para os subtrecho de acordo com área de atuação – Consultorias

Para os profissionais atuantes na área de consultorias, os indicadores de alteração das vazões e regime sedimentológico, têm maior relevância, levando-se em consideração a área de atuação destes que atuam em projetos de empreendimentos de desenvolvimento urbano em macrodrenagem e em qualidade das águas.

Finalmente a Figura 7.11 mostra a comparação da média geral dos pesos dos Indicadores de Estado *versus* a média dos pesos de indicadores por área de atuação, arbitrados pelos profissionais das prefeituras municipais.

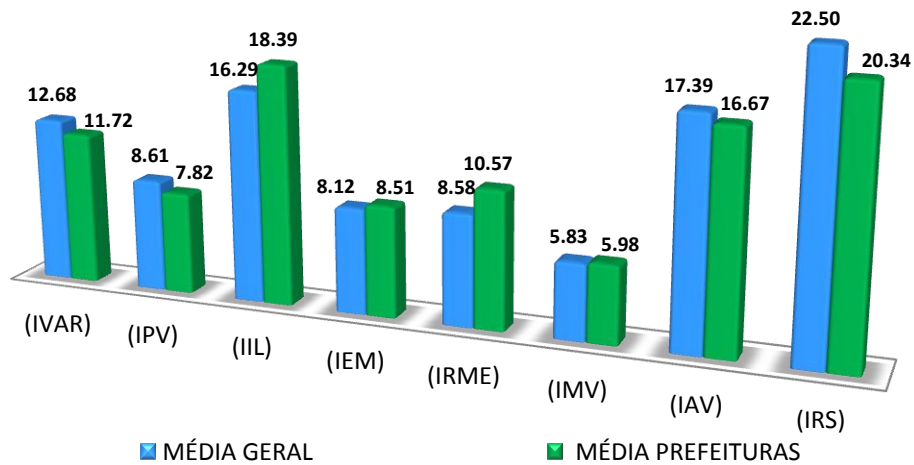


Figura 7.11 - Média geral pesos indicadores *versus* média área de atuação - Prefeituras

Nesse contexto e para finalizar a análise de sensibilidade foi calculado o valor da Taxa de Similaridade utilizando-se o método TOPSIS. Os resultados são apresentados na Figura 7.12.

Taxa de similaridade - Método TOPSIS - Prefeituras

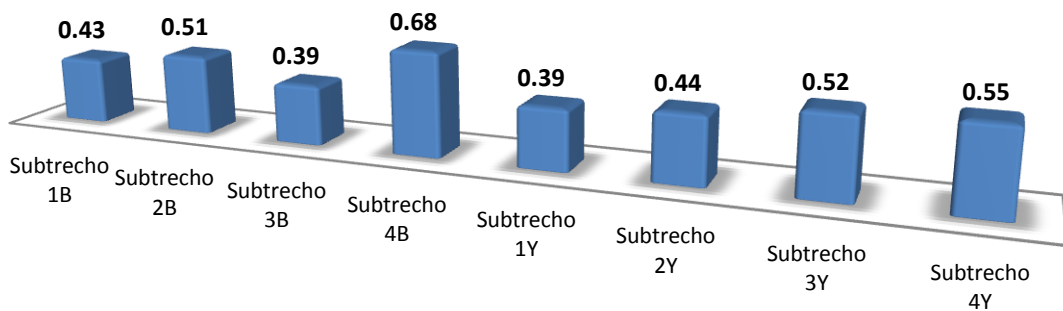


Figura 7.12 - Taxa de Similaridade para os diferentes subtrechos – área de atuação prefeituras municipais

Para os profissionais das prefeituras municipais os indicadores com maior importância e relevância foram regime sedimentológico e inundação no local, esse resultado era se de esperar devido ao perfil profissional de cada um dos consultados assim como pelas prioridades e desenvolvimento de investimento das prefeituras quanto a realização de obras de mitigação na área.

A partir da análise realizada pode-se concluir que a variação nos pesos dos indicadores afetou a hierarquização das alternativas. Em consenso das quatro categorias de profissionais consultados, o subtrecho 4 de Bolonia apresentou os maiores valores, estabelecendo-se assim como o mais prioritário em quanto a intervenções. Com relação a avaliação dos demais trechos, houve concordância entre as posições para todos os representantes de áreas à exceção dos resultados para os representantes das universidades. Houve uma inversão na prioridade do segundo ao quinto colocados para os pesos atribuídos pelos representantes das universidades.

Já no caso da ponderação dos resultados das autoridades ambientais a taxa de similaridade mostrou pequena diferença para os trechos 3 e 4 de Yomasa e 2 de Bolonia, assim como para os representantes das consultorias e das prefeituras os trechos 3 e 4 de Yomasa mostraram uma diferença pequena. Não entanto para os representantes das prefeituras os subtrechos 1 de Bolonia e 2 de Yomasa apresentaram valores iguais. Pode-se então afirmar que a metodologia mostrou uma sensibilidade pequena à variação nos pesos dos indicadores no tocante às categorias consultadas.

8 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

O objetivo deste trabalho foi propor uma metodologia para priorização de intervenções em trechos de cursos de água, com base na integração e agregação de aspectos e indicadores de Estado e de Pressão, subsidiando a escolha, a priori, de tais intervenções por parte dos gestores e decisores com vistas ao desenvolvimento de processos de restauração de cursos d'água. Deste trabalho algumas conclusões puderam ser obtidas e perspectivas futuras de continuidade de pesquisas podem ser apontadas, abrangendo o desenvolvimento de outras metodologias para priorização assim como de sistemas de apoio à decisão.

Para iniciar é importante ressaltar que os objetivos propostos nesta pesquisa foram atingidos, tendo sido proposta uma metodologia para priorização de intervenções em cursos de água cujos parâmetros de avaliação e seus respectivos indicadores foram selecionados considerando aspectos ambientais, hidrológicos, sanitários, sedimentológicos, e de pressão antrópica, referentes a cursos de água. Sugere-se também escalas de avaliação para cada indicador, que servem como uma orientação para a aplicação da metodologia.

A utilização de indicadores como métodos de comparação mostrou ser uma ferramenta útil em um processo de tomada de decisão. A escolha e definição dos indicadores, foi realizada mediante a revisão bibliográfica. Não obstante, é de ressaltar que para o desenvolvimento da metodologia com utilização de Indicadores de Estado e Pressão, para priorização de intervenções em cursos de água, são escassas as pesquisas e publicações relacionadas ao tema, tornando a pesquisa um processo complexo.

Nesse sentido, para o desenvolvimento da metodologia foram escolhidos e definidos oito indicadores que foram denominados *Indicadores de Estado*, visando avaliar os aspectos sanitários, riscos de inundação, ambiental, hidrológico e sedimentológico, decorrentes do cumprimento de uma série de objetivos de restauração de trechos de cursos de água, formando assim o *Índice de Estado*. Assim como a proposição dos indicadores denominados *Indicadores de Pressão*, com vistas a avaliar a pressão antrópica considerando a área de influência da bacia hidrográfica e da faixa de proteção, e o social considerando o risco de assentamentos humanos, formando o *Índice de Pressão*.

Os indicadores escolhidos e definidos após da revisão da literatura, foram avaliados por diversos profissionais atuantes na área da pesquisa que além de atribuir pesos aos indicadores reuniram sugestões a respeito da metodologia proposta. Tal avaliação foi realizada mediante a utilização de um questionário, que proporcionou um melhor entendimento sobre estes, permitindo assim avaliar a postura dos decisores, e a influência entre os critérios, mostrando a importância que cada um representa para os diferentes decisores considerando os interesses e pontos de vista de cada um, o que pode ser percebido através dos pesos atribuídos, que reflete a área de atuação dos entrevistados.

Com relação à ponderação dos indicadores pelos diversos atores do processo decisório, esta mostrou resultados bastante diversos, reforçando as tendências subjetivas da análise, assim como as sugestões foram válidas, pertinentes e amplamente aproveitadas no desenvolvimento deste trabalho.

Por sua vez com relação a avaliação dos indicadores, foi observada uma redundância na formulação inicial, como aqueles relacionados ao aspecto sanitário (vertimento de águas residuais) e ao indicador social (risco de assentamentos humanos), por este motivo fez-se necessário a reformulação de alguns indicadores para eliminar a chance de uma avaliação repetitiva e visando maior clareza na avaliação.

No entanto, considerando a ponderação dos indicadores e aspectos feito pelos profissionais consultados, foi considerado por unanimidade o aspecto ambiental, como o de maior relevância.

A análise de sensibilidade realizada para o estudo de caso demonstrou que a metodologia proposta é robusta e pouco sensível às variações nos pesos dos indicadores, na ponderação e no valor dos indicadores. A análise também foi útil para identificar a influência que um critério pode exercer sobre outro dependendo do conjunto de pesos que lhes são atribuídos e a forma como as alternativas são avaliadas em relação a tais critérios.

A coerência dos resultados, a facilidade de aplicação da metodologia de análise multicritério e o entendimento de seu funcionamento por parte dos decisores são fatores que podem considerar a eficiência e eficácia do método TOPSIS aplicado a processos de tomada de

decisões referentes a priorização de intervenções em cursos de água permitindo que sua aplicação seja estendida a qualquer trecho ou curso de água assim como a possibilidade de ser replicada em outras situações.

Pode-se considerar que a metodologia desenvolvida foi satisfatória, tornando possível estruturar um processo de auxílio na tomada de decisões e as priorizações de intervenções para os trechos de cursos de água. Nesse sentido é de esperar que a aplicação desta metodologia sirva para orientar os profissionais envolvidos na realização de projetos deste tipo tanto quanto aos órgãos e autoridades ambientais responsáveis por esse tipo de decisão.

Com relação a abordagem referente ao conceito de restauração de cursos de água, torna-se necessária que este conceito deva ser cada vez mais debatido, fortalecido e sedimentado não só pela comunidade acadêmica, mas também pelos gestores e decisores ambientais e urbanos objetivando adequar a gestão e a qualidade dos recursos hídricos.

Igualmente, quanto aos processos de restauração de cursos de água, estes refletem-se na qualidade ambiental das bacias hidrográficas e necessitam da participação social efetiva para que as suas ações obtenham resultados positivos. Deste modo a indicação de que a restauração de cursos de água pode ser utilizada como ferramenta de gestão urbana e de gestão de bacias hidrográficas. Estas ferramentas, ao serem utilizadas nas ações de planejamentos locais e regionais de desenvolvimento, poderão fazer parte da construção e da reconstrução dos sistemas urbanos.

É importante salientar que fundamentar e implantar as ações que promovem 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, no caso dos trechos de curso de água, tanto urbanos como rurais.

Devido a ampla abrangência dos princípios de restauração dos cursos de água, é necessário considerar que as ações de planejamento e execução, venham ocorrer de forma sistêmica,

integrada e participativa entre os autores e atores do processo. Com base nesta abordagem, deve-se entender e, ao mesmo tempo ressaltar, que restaurar não significa simplesmente tornar o curso de água visivelmente limpo. Mas significa contemplar nas ações, todos os fatores que influenciam de forma direta ou indireta, no estabelecimento de uma boa qualidade ambiental dos sistemas urbanos e das suas respectivas bacias hidrográficas.

Nesse sentido é importante salientar que o Plano Diretor constitui um dos principais e fundamentais instrumentos para o planejamento urbano procurando atingir uma visão de cidades sustentáveis onde se deve incluir os cursos de água em seu contexto, assim como a organização e planejamento considerando desafios de resgate da qualidade de seus corpos de água em abordagens atuais e futuras, sendo este um dos principais desafios para os decisores e gestores urbanos.

Como recomendação para futuros trabalhos, sugere-se a consideração de outros indicadores tais como os relacionados a ocupação e uso do solo, valoração paisagística, educativos, econômicos entre outros, com outras variáveis que representem melhor cada critério, ou complementem a avaliação dos mesmos, visando uma pesquisa mais vasta tornando a análise da priorização de alternativas mais abrangente.

Além disso, recomenda-se considerar a participação da população dentro das novas pesquisas já que esta é observadora dos problemas e dos impactos que são gerados, sendo de grande importância para a elaboração das propostas, definição de objetivos, planejamento e programação de ações para alcançar resultados previstos compatíveis com a realidade local.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERNETHY, B; & WANSBROUGH, T. M. Where does river rehabilitation fit in catchment management? In Rutherford I, Sheldon F, Brierley G and Kenyon C eds Proceedings of the Third Australian Stream Management Conference Co-operative Research Centre for Catchment Hydrology, Brisbane 1–6, 2001.

ADRIAANSE, A. Environmental policy performance indicators. SDV Publishers.Haia, Holanda. 1993.

AFONSO, C.J.A. *Renaturalização e revitalização de rios urbanos: uma abordagem sistêmica*. 2011.133 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Urbana) —Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2011.

AGUIAR, J.E.D. *Estudos das características técnicas e operacionais das galerias de águas pluviais como subsídios para gestão patrimonial e estabelecimento de diretrizes para projetos de sistemas de drenagem urbana*. 2012. 258f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) — Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

ANDEL, J. V.; GROOTJANS, A. P. Concepts in restoration ecology. In *Restoration Ecology*. Eds. Van Andel, J. & Aronson, J. Blackwell Science: Malden, 2006.

ANDERSON, J. L.; HILBORN, R.W.; LACKEY, R.T.; LUDWIG, D. Watershed restoration-adaptive decision making in the face of uncertainty, in *Strategies for Restoring River Ecosystems: Sources of Variability and Uncertainty in Natural and Managed Systems*, p.203–232, 2003.

ANDERSON, J.T. A risk-related preventive maintenance system. *Journal of Clinical Engineering*, v.17, jan/fev, p. 65-68, 1992.

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.

ARTHINGTON, A. H.; BUNN, S.E.; POFF, N.A.; NAIMAN, R. J. The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems. *Ecological applications*, 16(4), p.1311-1318, 2006.

AZZOUT, Y. *Aide a la décision appliquée au choix des techniques alternatives em assainissement pluvial*. 1996. 245f. Tese (Doutorado. Méthodes de conception en aménagement, bâtiment et techniques urbaines) L’Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. Lyon, França. 1996.

BAPTISTA,J. M; ALEGRE, H. WP1- Construction of a control panel of performance indicators for rehabilitation, Report No 1, Preliminary rehab PI System. Lisbon, 95p 2005.

BAPTISTA, M.B.; CARDOSO, A. S.; MOURA, P.; EVANGELISTA, J. A. Utilização de técnicas multicriteriais para análise e seleção de alternativas de intervenção em rios In:

Restauração de sistemas fluviais – conceitos e experiências Valter Lúcio De Pádua e Márcio Benedito Baptista (org.) Editora manole Ltda.(No prelo), 2012.

BAPTISTA, M; NASCIMENTO, N; BARRAUD, S. Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2005.

BARROS, M.T.L.; PORTO, M.F.A.; PELLEGRINO, P.; BRANDÃO, J.L.B.; ONO, S. & ROS, D.A. Renaturalização de pequenas bacias hidrográficas brasileiras: questões para reflexão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007. São Paulo, SP: ABRH. p. 1-17.

BATISTA, M. E. M.; LIMA, E. R.V.; SILVA, T. C. Indicador de performance de sistemas de drenagem Urbana por vias, setores censitários e bairros” In XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. João Pessoa, PB. 2005.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte 2008/2011, atualização 2010. Belo Horizonte, 2010.

BELFORT, D.C.N; Da reforma do código florestal e o conflito de interesses entre ruralistas e ambientalistas. *Revista de direito da Unigranrio*, p. 107-130. 2012

BELT, G.H.; O'LAUGHLIN, J; MERRILL, T. Design of forest riparian buffer strips for the protection of water quality: analysis of scientific literature. University of Idaho, 1992.

BENNETT, J; SANDERS, N; MOULTON, D; REDFERN, F; PHILLIPS, N. Identification and protection of waterway ecological values in Rutherford I, Sheldon F, Brierley G and Kenyon C eds Proceedings of the Third Australian Stream Management Conference Co-operative Research Centre for Catchment Hydrology, Brisbane 35–43, 2001.

BERGHUSEN, L.; Evaluation stream restoration and bioengineering practices in the Chicago Wilderness Region. *CW Journal* 2(1), p.5-11, 2004.

BERNHARDT, E. S. Synthesizing U.S. River Restoration Efforts. *Science Supporting Online Material*, p.1-26, 2006.

BERNHARDT, E.S.; & PALMER, M.A. Restoring streams in an urbanizing world. *Freshwater Biology*, 52(4), p.738-751. 2007

BERNHARDT, E.S.; PALMER, M.A.; ALLAN, J.D.; ALEXANDER, G.; BARNAS, K.; BROOKS, S.; CARR, J.; CLAYTON, S.; DAHM, C.; FOLLSTAD-SHAH, J.; GALAT, D.; GLOSS, S.; GOODWIN, P.; HART, D.; HASSETT, B.; JENKINSON, R.; KATZ, S.; KONDOLF, G.M.; LAKE, P.S.; LAVE, R.; MEYER, J.L.; O'DONNELL, T.K.; PAGANO, L.; POWELL, B.; SUDDUTH, E., Synthesizing U.S. River Restoration Efforts. *Science* 308(5277), p .636-637, 2005.

BERRÊDO, V. D. D. *Avaliação de riscos ambientais em áreas contaminadas: Uma proposta metodológica*. 2010. 152 f. Dissertação (Mestrado Programa Planejamento Ambiental) — Universidade Federal de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

BILATERAL GENERAL PROJECT MORAVA II (BGM II) Alfonse Obrhofer (alfons.oberhofer@chello.at). Atelier Oberhofer, Austria. A-1180 Wien Schindlergasse 49 UID. www.ao-plan.com

BINDER, W. Rios e Córregos. Preservar - Conservar - Renaturalizar. Espaço das Águas: As Várzeas de Inundação na cidade de São Paulo/2001.

BOGOTÁ. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Localidad Usme. Diagnóstico local de salud con participación social 2009-2010. Bogotá, 2010.

BOGOTÁ. Corporación Suna Hisca. Plan de Ordenamiento y Manejo parque Distrital de montaña Entrenubes. 2003

BOGOTÁ. Pontificia Universidad Javeriana, Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Ambiente, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Calidad del sistema hídrico de Bogotá. Bogotá, 2008. 361 p.

BOGOTÁ. Secretaria Distrital de Planeación. Los Caminos de los Cerros. Bogotá, 2007.

BOGOTÁ. Secretaría Distrital de Ambiente. Plan de Gestión Ambiental del Distrito Capital PGA BOGOTÁ 2038. Bogotá, 2008.

BOLLMAN, H. A. Relação da densidade populacional sobre variáveis de qualidade físico-química das águas superficiais em microbacias hidrográficas urbanas sem cobertura sanitária em Porto Alegre-RS. 2003. 159 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) —Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

BOOTH, D. Challenges and prospects for restoring urban streams: a perspective from the Pacific Northwest of North América. *Journal of the North American Benthological Society* 24(3), p. 724-737, 2005.

BOUYSSOU, D. Modeling inaccurate determination, uncertainty, imprecision using multiple criteria. In: LOCKETT, A.G., ISLEI, G. (eds.) *Improving Decision Making in Organizations*, Berlin: Springer, p.78-87, 1989.

BRAGA, B. P. F.; GOBETTI, L. E. C. Análise Multiobjetivo. In: Porto, R. L. L. (Org.) *Técnicas quantitativas para o gerenciamento de Recursos Hídricos*. Segunda Edição. ABRH, Porto Alegre, RS, p. 361-418. 2002.

BRAGA, R.; CARVALHO, P.F. (Org.). *Recursos hídricos e planejamento urbano e regional*. Rio Claro: Laboratório de Planejamento Municipal, 2003. 131p.

BRASIL. Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa: altera as Leis nos 6.938 de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012

BRIERLEY, G. J; FRYIRS, K. Creating a catchment-framed biophysical vision for river rehabilitation programs in Rutherford I, Sheldon F, Brierley G and Kenyon C eds *Proceedings*

of the Third Australian Stream Management Conference Co-operative Research Centre for Catchment Hydrology, Brisbane 59–65, 2001.

BRIERLEY, G.; FRYIRS, K; OUTHET, D. MASSEY, C. Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South Wales, Australia. *Applied Geography* 22, p.91-122. 2002.

BRITO, D. S. *Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem*. (2006). 117 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) — Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.

BROOKS, A.P; ABBE, T. B; JANSEN, J. D; TAYLOR, M; GIPPEL, C. J. Putting the wood back into our rivers: an experiment in river rehabilitation in Rutherford I, Sheldon F, Brierley G and Kenyon C eds Proceedings of the Third Australian Stream Management Conference Co-operative Research Centre for Catchment Hydrology, Brisbane 73–80, 2001

BROSTEL, R. C. *Formulação de modelo de avaliação de desempenho global de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETEs)*. 2002. 278 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, 2002.

BUIJSE, A. D.; COOPS, H.; STARAS, M.; JANS, L.H.; VAN GEEST, G.J.; GRIFT, R.E.; IBELINGS, B.W.; OOSTERBERG, W.; ROOZEN, F.C.J.M. Restoration strategies for river floodplains along large lowland rivers in Europe. *Blackwell Science Ltd, Freshwater Biology*, 47, p.889–907, 2002.

CHING-LAI, H. KWANGSUN, P. Y. *Multiple attribute decision making: methods and applications: a state-of-the-art survey*. Berlin, Germany: Springer-Verlag. 1981

CAPUANO, M. & KORITKO, S. Risk-Oriented Maintenance – Increase the effectiveness of your PM program. *Biomedical Instrumentation & Technology*, jan/fev, p. 25-37, 1998.

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

CARDOSO, A. S. *Proposta de sistemática para orientação de processos decisórios relativos a intervenções em cursos de água em áreas urbanas*. 2012. 323 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) — Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

CARO, J.R.; ABROKWA, R.; HARTMANN, L.; HAWA, E.T.; IVANON, KLEENTVAAR, P. *Índices hidro-ambientais: análise e avaliação do seu uso na estimativa dos impactos ambientais de projetos hídricos*. Coletânea de textos traduzidos. IAPAR. Curitiba/Pr. 1995.

CASTRO, L.M.A. *Proposição de indicadores para avaliação de sistemas de drenagem urbana*. 2002. 118f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) — Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2002.

CASTRO, L.M.A. *Proposição de metodologia para a avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos de água*. 2007. 297f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) — Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

CASTRO, L.M.A.; BAPTISTA, M.B.; CORDEIRO NETTO, O.M. Análise multicritério para avaliação de sistemas de drenagem urbana – Proposição de indicadores e sistemática de estudo. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.9, n.4, p.05-19, 2004.

CENTRO ITALIANO PER LA RIQUALIFICAZIONE FLUVIALE, CIRF. La riqualificazione fluviale in Italia. Linee guida, strumenti ed esperienze per gestire i corsi d'acqua e il territorio. Mazzanti editore, Mestre. 2006, 832p.

COMAS, M.; CASTELLS, X.; HOFFMEISTER, L.; ROMAN, R.; COTS, F.; MAR, J.; GUTIERREZ-MORENO, S.; ESPALLARGUES, M. Discrete –event simulation applied to analysis of waiting lists. Evaluation of a prioritization system for cataract surgery. *Value in Health*, v.11, n.7, p. 1203-1213, 2008.

COSTA, R.C. *Parques fluviais na revitalização de rios e córregos urbanos*. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) — Instituto de Ciências humanas e da informação, Universidade Federal do Rio Grande.

CRISTOFOLINI, V. Geração de Alternativas para o Aprimoramento de Docentes do Campus III da Universidade do Vale do Itajaí: Uma aplicação do MCDA. Florianópolis –SC: UFSC, 1998.

CSD. Programme of work on indicators for sustainable development of the Commission on Sustainable Development. Report of the Secretary-General to the CSD on the Chapter 40 of Agenda 21. Information for the Decision-Making (E/CN.17/1995/18). Washington, Estados Unidos. 42p., 1995.

DALLA, C.S. *Estudo da viabilidade de revitalização de curso d'água em área urbana: estudo de caso no rio córrego grande em Florianópolis, Santa Catarina*. 2008. 163 f. Dissertação (Mestrado em engenharia ambiental) — Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

DAVIS, N.M.; WEAVER, V.; PARKS, K. & LYDY, M.J. An assessment of water quality, physical habitat, and biological integrity of an urban stream in Wichita, Kansas, prior to restoration improvements (phase I). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 44(3), p.351-359. 2003.

DECHESNE, M.; BARRAUD, S.; BARDIN, J-P. Indicators for hydraulic and pollution retention assessment of stormwater infiltration basins. *Journal of Environmental Management*. v.71, p.371-380, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION. Metodologia General Ajustada para proyectos de inversión publica. Bogotá 2012.

ENVIRONMENT AGENCY. Bringing Your Rivers Back to Life. 2006

EURYDICE 92, Reconcilier l'eau et La ville par la maîtrise des eaux pluviales. Paris, Ed. de STU, Ministère de l'équipement, 1991, 64p.

EVANGELISTA, D.A.J. *Sistemática para avaliação técnica e econômica de alternativas de intervenções em cursos de água urbanos*. 2011. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) — Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2011.

FENNIGKOH, L. & SMITH, B. Clinical Equipment Management. JCAHO Plant Safety Technology and Safety Management Standard Series, n.2, 1989.1:5-14

FERREIRA, H.; CASSIOLATO, M.; GONZALEZ, R. Uma experiência de desenvolvimento metodológico para avaliação de programas: o modelo lógico do programa segundo tempo. Texto para discussão. Rio de Janeiro: IPEA, 2009.

(FISRWG) FEDERAL INTERAGENCY STREAM CORRIDOR RESTORATION WORKING GROUP. *Stream Corridor Restoration: Principles Process and Practices*. Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 1998 653 p.: il.

(FISRWG) FEDERAL INTERAGENCY STREAM CORRIDOR RESTORATION WORKING GROUP. *Stream Corridor Restoration: Principles Process and Practices*. Federal Interagency Stream Corridor Restoration Working Group, 2001 637 p.: il.

FINDLAY, S. J.; TAYLOR, M.P. Why rehabilitate urban river systems?. Department of Physical Geography, Mcquarie University, NSW 2109, Australian, 2006.

GÄRTNER, S.; REYNOLDS, K.M.; HESSBURG, P.F.; HUMMEL, S.; TWERY, M. Decision support for evaluating landscape departure and prioritizing forest management activities in a changing environment. *Forest Ecology and Management*. 256, p. 1666-1676. 2008.

GAYOSO, J.; GAYOSO, S. Diseño de zonas ribereñas. Requerimiento de un ancho mínimo. Forestal Los Lagos S.A. y Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 2003.

GEERSE, J. M. U.; LOBBRECHT, A. H. Assessing the performance of urban drainage systems: 'general approach' applied to the city of Rotterdam. *Urban Water*. Vol.4. pp.199–209, 2002.

GENERINO, R. C. M. *Desenvolvimentos em Metodologias Multicritério para Procedimentos de Avaliação em Auditorias Ambientais: Aplicação para Estações de Tratamento de Esgotos em Brasília/DF*. 1999.167f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – PTARH). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 1999.

GOMES, L.F.A.M; SIMÕES, G.C.F; ALMEIDA, A. T. D. Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério. São Paulo: Atlas, 2002.

GÓMEZ, M.A.M.; NARANJO, F.D.; MARTÍNEZ, A.A.; GALLEGOS, S.D.J. Calidad del agua en la parte alta de las cuencas Juan Cojo y El Salado (Girardota – Antioquia-Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, v.60 (1), p 3735-3749, 2007.

GULLIKSON, M. L. Risk Factors, Safety, and Management of Medical Equipment. In: Bronzino, J. D. *The Biomedical Engineering Handbook*. USA: CRC Press, Inc. p. 2522-2536, 1995.

HARADA, A. L.; CORDEIRO NETTO, O. M. Métodos Multicritério de auxílio à decisão. Texto de disciplinas do mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos do departamento de engenharia civil e ambiental da Universidade de Brasília. Brasília. 13p. 1999.

HAUGHTON & HUNTER, Sustainable cities. Regional Policies and Development Series 7. Jessica Kingsley Publishers and Regional Studies Association, 1994.

HERTZ, E. Establishing the Priority of Equipment Inspection. *Biomedical Instrumentation & Technology*, v.24, nov/dez, p. 410-416, 1990.

HILLMAN, M.; BRIERLEY, G. A critical review of catchment-scale stream rehabilitation programmes. *Progress in Physical Geography*, 29: p.50-70, 2005.

JANUZZI, P.M. *Indicadores sociais no Brasil: Conceitos, fontes de dados e aplicações*. Alínea Editora. Campinas, SP. 141p. (2004).

JANUZZI, P.D.M.; NERY, E.G.M. Propagação de erros em algoritmos de cômputo do Índice de Gini para distribuição de renda: uma nota técnica. *Revista do Instituto de Informática da PUCCAMP*, Campinas, v.4, n.1, p.52-55, jan/jun, 1996.

KATES, R. W.; CLARK, W. C.; CORELL, R.; HALL, J. M.; JAEGER, C. C.; LOWE, I.; MCCARTHY, J. J.; SCHELLENHUBER, H. J.; BOLIN, B.; DICKSON, N. M.; FAUCHEUX, S.; GALLOPIN, G.C.; GRÜBLER, A.; HUNTLEY, B.; JÄGER, J.; JODHA, S.N.; KASPERSON, E.R.; MABOGUNJE, A.; MATSON, P.; MOONEY, H.; MOORE III, B.; O'RIORDAN, T.; SVEDIN, U.; Environment and development: Sustainability science, *Science*. v.292, p.641– 642, 2001.

KENDALL, E.B.; CRONIK, J. W. & WHITE, R. N. Real-time flexible preventive maintenance scheduling. *Biomedical Instrumentation & Technology*, v. 27, jan/fev, p.16-20, 1993.

KOLSKY, P.; BUTLER, D. Performance indicators for urban storm drainage in developing countries. *Urban Water*, v.4, p. 137-144, 2002.

KONDRATYEV, S.; GRONSKAYA, T.; IGNATIEVA, N.; BLINOVA, I.; TELESH, I.; YEFREMOVA, L. Assessment of present state of water resources of Lake Ladoga and its drainage basin using Sustainable Development indicators. *Ecological Indicators*. v.2. p.79 - 92, 2002.

LANNA, A. E. Elementos de estatística e probabilidade. In: TUCCI, C.E.M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: ABRH; UFRGS, 2009. p. 79-176.

LORENZ, A.; HERING, D.; FELD, C. K.; ROLAUFFS, P. A new method for assessing the impact of hydromorphological degradation on the macroinvertebrate fauna of five German stream types. *Hydrobiologia* 516, Essen, Germany, p.107–127, 2004.

LUKEN, J. Directing ecological succession. Chapman and Hall. The University Press. Cambridge. Great Britain. 1990.

MACCAFERRI. Manual Técnico de Revestimento de Canais e Cursos de Água. São Paulo. Maccaferri do Brasil, 2001. 100 p.

MACEDO, D.R. *Avaliação de Projeto de Restauração de Curso d'água em Área Urbanizada: estudo de caso no Programa Drenurbs em Belo Horizonte*. 2009. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) — Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

MAGALHÃES, M.T.Q. *Metodologia para desenvolvimento de sistemas de indicadores: uma aplicação no planejamento de transportes*. 2004. 135 f. Dissertação (Mestrado em transportes) — Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília. 2004.

MAGALHÃES, T. *Estudo tridimensional do dano corporal: lesão, função e situação (Sua aplicação Médico-legal)*. Coimbra: Almedina, 1998. 252p.

MAGRINI, A. *Metodologia de avaliação de impacto ambiental. O caso das usinas hidrelétricas*. 1992. Dissertação (Programa Planejamento Ambiental) — Universidade Federal de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1992.

MANCIE, G.; RAVEN, P.J.; BRAMLEY, M.E. Integrated river basin management in England and Wales: a policy perspective. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*: 12, p. 339–46, 2002.

MARTIN, C.; RUPERD, Y.; LEGRET, M. Urban storm drainage management : The development of a multicriteria decision aid approach for best management practices. *European Journal of Operational Research*. 2006.

MARTINO, J.P. Technological forecasting for decision making. 3. Ed New York: Mc Graw Hill Inc..1993.

MATOS, R.; CARDOSO, A.; ASHLEY, R.; DUARTE, P.; MOLINARI, A.; SCHULZ, A. Performance indicators for wastewater services. Manual of best practice series, IWA Publishing, Londres, Reino Unido.174p., 2003.

MATOS, R; CARDOSO, M.A.; PINHEIRO, I.; ALMEIDA, M.D.C. WP 1, Deriverable D1, construction of a control panel for rehabilitation: selection of a listing of rehab PIs. Lisbon. 204p. 2003.

MAYSTRE, L. Y.; PICTET, J.; SIMOS, J. Méthodes multicritères ELECTRE: description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale. Laussane: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1994.

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.

MENDONÇA, E. C. *Metodologia para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana*. 2009. 171 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2009.

MENEZES, C.T. *Método para priorização de ações de Vigilância da presença de agrotóxicos em águas superficiais: Um estudo em minas gerais*. 2006 117 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) — Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

MILOGRANA, J. *Sistemática de Auxílio à Decisão para a Seleção de Alternativas de Controle de Inundações Urbanas*. 2009. 316 f Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Departamento de engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2009.

MIRANDA, L.M. *Contribuição a um modelo de análise multicritério para apoio à decisão da escolha do corredor de transporte para escoamento da produção de grãos agrícolas de Mato Grosso*. 2008. 255f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MIRANDA, C.; ALMEIDA, A. Gestão de Empreendimentos de Construção Civil com Avaliação Multicritério. In: DUMKE, D.; SICSÚ, A. (Org.) *Gestão da Qualidade em Serviços*. Recife: Ed. Universitária, 2003, p. 99-118.

MOLDAN, B.; BILHARZ, S.(Ed). *Sustainability indicators: report of the project on indicators of sustainable development*. Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd., 1997. 415p.

MOURA, P. M. *Avaliação global de sistemas de drenagem urbana*. 2004. 146 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) — Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2004.

MOUSSEAU, V. “Eliciting Information Concerning the Relative Importance of Criteria”, Cahier du Lamsade, n. 126, Université Paris-Dauphine, Paris, France, 1995.

NASCIMENTO, N.O.; HELLER, L. Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e o saneamento. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 10, n.1, p.36-48, janeiro/março, 2005.

NEVES, C.; NEVES, M. S. Proposta Metodológica para Seleção e Hierarquização de Projetos de Saneamento. In: SIMPÓSIO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Bauru: UNESP, 2003. p. 1-10.

NOH, S. H. Restoration of Cheonggyecheon in Seoul (Beginning and after), slide 48. II Seminário Internacional de Revitalização de Rios. 10-12 de maio de 2010. Belo Horizonte, 2010.

NORONHA, S. M. D. *Um modelo multicritérios para apoiar a decisão da escolha do combustível para alimentação de caldeiras usadas na indústria têxtil*. Dissertação (Mestrado). UFSC, Florianópolis. 1998.

NUTTER, W.L.; GASKIN, J.W. Role of streamside management zones in controlling discharges to wetlands. In, Proceedings: The forested wetlands of the southern United States. USDA Forest Service General Technical Report SE-50, Asheville, NC. Pp. 81-84.1988

OFWAT – Water Services Regulation Authority of England and Wales.; EA – Environment Agency of England and Wales. Development of enhanced serviceability indicators for sewerage assets. Final Report. Londres, Reino Unido. 44p + anexos, 2001.

PALMER, M. A., Reforming Watershed Restoration: Science in Need of Application and Applications in Need of Science. *Estuaries and Coast* DOI 10.1007/s12237-008-9129-5. 2008.

PEREIRA, J.A.A.; BOREM, R.A.T.; SANT'ANA, C.M. *Análise e avaliação de impactos ambientais*.Lavras, MG : UFLA, 2001.

PEREIRA, I.L.V.; VIANA, E.M.F.; BAPTISTA, M.B. Recuperação de cursos de água – estudo de caso no rio das velhas. In XXIII CONGRESSO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA CARTAGENA DE INDIAS COLOMBIA, 2008, Colômbia.

PETRY, A.C. *Atuação da bancada ruralista nas votações de projetos relacionados ao novo código florestal Brasileiro durante o governo Dilma*. 48 f. Monografia (Bacharel em Ciências Sociais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul / Instituto de Filosofia e Ciências Humanas - Departamento de Ciência Política. Porto Alegre, 2013.

PHILLIPS, M., LL. SWIFT Y C. BLINN. Best Management Practices for Riparian Areas. In : *Riparian management in forests of the continental Eastern United States* Boca Raton, FL: Lewis Publishers, CRC Press . (16) 273-286. 2000

POFF, N., ALLAN, J. D., BAIN, M. B., KARR, J. R., PRESTEGAARD, K. L., RICHTER, B. D., SPARKS, R. E. y STROMBERG, J. C., The natural flow regime. *BioScience* 47(11), p.769-784, 1997.

POMEROL, J.C.; BARBA-ROMERO, S. Choix multicritère dans l'entreprise: principe et pratique. Paris: Hermes, 1993. 390 p.

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

POMPÊO, C. A. Drenagem Urbana Sustentável. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos/ABRH*, Porto Alegre, v.5, n.1, p. 15-23, 2000.

PORTO, R.L.; ZAHED FILHO, K.; TUCCI, C.E.M.; & BIDONE, F. Drenagem urbana. In: TUCCI, C.E.M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre, RS: Ed. Universidade UFRGS & ABRH. 2ª Ed, 2000. p. 805-848.

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

REUSS, M. Ecology, planning, and river management in the United States: some historical reflections. *Ecology and Society* 10(1): 34, 2005.

REYNOSO, A.E.G.; MUNOZ, L.H.; COHEN, M.; SAENZ, I.Z. *Rescate de ríos urbanos: propuestas conceptuales y metodológicas para la restauración y rehabilitación de ríos*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México, 109p.2010.

RIBEIRO, L.B.D.F.; NICK, P.L.D.L. *Requalificação fluvial parcial x Barragem de controle de cheias: Medidas de mitigação para as enchentes no perímetro urbano da cidade de Resende- RJ*.2011. 68 f. Monografia (Graduação Engenharia Civil), Universidade Federal de Rio de Janeiro/ Escola Politécnica. Rio de Janeiro, 2011.

RILEY, A. L. "Restoring Streams in Cities: A Guide for Planners, Policymakers, and Citizens". Washington DC: Island Press. 1998. 423p.

RILEY, A. L. What is restoration? In *The sustainable development reader*. Stephen M. Wheeler & Timothy Beatley. New York: Routledge, 2004.

RIVER RESTORATION CENTER. Newsletter. Issue 1.1998

RODHE, M.G. Estudos de impacto ambiental: a situação brasileira. In: RIMA, *Relatório de Impacto Ambiental: Legislação, elaboração e resultados/organizado por Roberto Verдум e Rosa Maria V. Medeiros* 3a ed. ampl. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, p.20-36, 1995.

ROHDE, S.; HOSTMANN, M.; PETER, A.; EWALD, K.C. Room for rivers: An integrative search strategy for floodplain restoration. *Landscape and Urban Planning*, v.78,. p.50-70, 2006.

ROSGEN, D. L., The Natural Channel Design for River Restoration. Proceedings of the 2006 World Environmental and Water Resources Congress, May 21-25, 2006, Omaha, Nebraska, 2006.

ROY, B. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996.

ROY, B., VANDERPOOTEN, D. The European School of MCDA: Emergence, Basic Features and Current Works. *Journal of MCDA*, v. 5, p. 22-38, 1996.

RUA, M. G. Desmistificando o problema: uma rápida introdução ao estudo dos indicadores. Mimeo, Escola Nacional de Administração Pública, Brasília, 2004.

SABOGAL, L. El riesgo sanitario y la eficiencia de los sistemas de tratamiento en la selección de tecnologías para la potabilización de agua. 2000. 107 f. Tese (Graduação Engenharia Sanitária) – Universidade del Valle, Cali, 2000.

SALOMON, V, *Desempenho da modelagem do auxílio à decisão por múltiplos critérios da análise do planejamento e controle da produção*, 2004. 122 f. Tese Doutorado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

SANTOS, A.C.P.B. *Proposição de abordagem para avaliação do estado de alteração de cursos de água*. 2010. 122 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) — Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

SARVAN, E. LIFE in the City – Innovative solutions for Europe’s urban environment. Bélgica, p.40. 2006.

SAUNDERS, C.; NASCIMENTO, É. Proposta para renaturalização de rios da Bacia Hidrográfica do Rio São João RJ. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. UFSC, 2006.

SCHMIDT, A. M. A. *Processo de apoio à tomada de decisão – abordagens: AHP EMACBETH*. 1995. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção) — Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995. Disponível em: <www.eps.ufsc.br/disserta/engait95.html>. Acesso em: 06 set. 2012.

SER (SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION) INTERNATIONAL, Grupo de Trabalho sobre Ciência e Política. Princípios da SER International sobre a restauração ecológica. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International. 2004.

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.

SOARES, S. R. *Análise multicritério com instrumento de gestão ambiental*. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção) — Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

TAGHEROUIT, W.B.; BENNIS, S.; BENGASSEM, J. A Fuzzy expert system for prioritizing rehabilitation of sewer networks. *Computer – Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 26, p.146-152. 2011.

TASCHNER, S.P. (2006). Degradação ambiental em favelas de São Paulo. In: TORRES, H. & COSTA, H. (orgs.) *População e Meio Ambiente: Debates e Desafios* (pp. 271-297). São Paulo, SP: Editora Senac. 2ª ed.

TAYLOR, A. Guidelines for evaluating the financial, ecological and social aspects of urban stormwater measures to improve waterway health. Technical Report. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology. Austrália. 77p. + anexos, 2005.

TEIXEIRA, J.C.; HELLER, L. Modelo de priorização de investimentos em saneamento com ênfase em indicadores de saúde: desenvolvimento e Aplicação em uma companhia estadual. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, Vol. 6 - Nº 3 e Nº 4 - p. 138-146, jul/set - out/dez 2001.

TEIXEIRA, J.C.; HELLER, L. Priorização de Investimentos em Saneamento baseada em Indicadores Epidemiológicos e Financeiros. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v.8, n 3, p.187-195, Jul./Set., 2003.

TORRES, A.A.E. Apuntes de clase sobre hidrología urbana. Pontificia Universidad Javeriana. 2004. 377p.:il.

TORRES, P., CRUZ, C. H., PATIÑO, P. J. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, v. 8 (15 especial), p.79-94, 2009.

TUCCI, C.E.M., BERTONI, J.C. *Inundações Urbanas na América do Sul*. ABRH, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2003. 471p.

TUCCI, C. E. M. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Gestão de Águas Pluviais Urbanas – Saneamento para todos. Brasília: Ministério das cidades, 2005.

VELLIDIS, G.; SMITH, M.C.; LEIBOWITZ, S.G.; AINSLIE, W.B.; PRUITT, B.A. Prioritizing wetland restoration for sediment yield reduction: A conceptual model. *Environmental Management*, v.31, n.2, p.301-312. 2003.

VINCKE, P. L'aide multicritère à la décision. Éditions de l'Université de Bruxelles. Bruxelles, Bélgica. 179p. 1992.

WANG, B. & LEVENSON, A. Equipment Inclusion Criteria – A New Interpretation of JCAHO's Medical Equipment Management Standard. *Journal of Clinical Engineering*. Jan/fev, p.26-35, 2000.

WATER FRAMEWORK DIRECTIVE, Case Studies. p. 43-47. 2006a

WATER FRAMEWORK DIRECTIVE. Case Studies. p.153-157. 2006b.

WENGER, S.; FOWLER, L. Protecting stream and river corridors: creating effective local riparian buffer ordinances. Univ of Georgia Carl Vinson Inst of, 2000.



WOHL, E.; ANGERMEIER, P.L.; BLEDSOE, B.; KONDOLF, G.M.; MacDONNELL, 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.

YOON, K. A reconciliation among discrete compromise situations, *Journal of Operational Research Society*, n° 38, p. 21-30. 1987.

ZAHED, K.F.; MARTINS, S.J.R.; PORTO, M.F.D.A., PORTO, R.L.L. *Água em Ambientes Urbanos – Renaturalização de Rios em Ambientes Urbanos*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, 2009.

ZENELY, M. Multiple criteria decision making. New York: Mc GrawHill, 1982.

APÊNDICE 01

	Universidade Federal de Minas Gerais Escola de Engenharia Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.	
---	--	---

ATRIBUCIÓN DE PESOS A INDICADORES, PARA PRIORIZACIÓN DE INTERVENCIONES EN QUEBRADAS

Introducción

La presente investigación está siendo realizada como trabajo de maestría titulado “Metodología para priorización de intervenciones en quebradas urbanas y rurales” desarrollado en el programa de Pos graduación en Saneamiento, Medio Ambiente y Recursos Hídricos de la Universidad Federal de Minas Gerais - Brasil.

Esta investigación está enfocada en establecer una metodología para priorización de intervenciones en Quebradas, con el objetivo de ayudar en la toma de decisión referente a la priorización de intervenciones, centrada en la restauración de estas.

Para la evaluación de priorización de intervenciones en Quebradas, fueron escogidos indicadores de priorización, de forma cualitativa y cuantitativa conforme a las categorías de aspectos (sanitarios, riesgo de inundación, ambientales, hidrológicos, sedimentológicos, y sociales) de forma interdisciplinaria abordando la compleja realidad y problemática de los cursos de agua.

La utilización de los indicadores estará vinculada a la atribución de pesos a cada uno de ellos y para tal se propone que los profesionales consultados respondan las preguntas propuestas en este cuestionario de investigación, siendo garantizado el anonimato de cada participante.

En este sentido, la metodología propuesta para la atribución de pesos a los indicadores fue definida en un primer momento en atribuir pesos a cada uno de los aspectos de forma que la sumatoria de estos pesos atribuidos llegue a un total de 100 puntos. Posteriormente, debe ser atribuido los valores de los pesos a cada uno de los indicadores, de acuerdo con la relevancia dentro de la categoría, de manera que la suma de estos sea igual al peso de los aspectos.

Con la atribución de pesos a cada categoría de aspecto y respectivos indicadores podrá, entonces ser realizada una comparación entre diferentes alternativas de priorización de intervenciones en Quebradas.

Igualmente pedimos en un segundo momento sea realizada una evaluación de los indicadores propuestos de forma a validarlos, verificando la pertinencia de estos, y si fuera el caso excluyendo o aumentar algún aspecto que deba ser utilizado en la metodología.

A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de los indicadores. Así solicitamos su colaboración en el diligenciamiento de la Tabla de atribución de pesos a los indicadores, después de una reflexión sobre el tema.

Nombre: _____
 Formación Profesional: _____
 Área de actuación: _____
 Institución: _____
 Correo electrónico: _____

PREGUNTA 1 – Atribución de pesos a las categorías de aspectos y sus respectivos indicadores.

Aspecto	Indicador		Peso aspectos	Peso Indicador
Sanitario	Vertimiento de aguas residuales	(I _{VAR})		
	Proliferación de vectores	(I _{PV})		
Riesgo de inundación	Inundación en el local	(I _{IL})		
Ambiental	Estabilidad de márgenes	(I _{EM})		
	Recuperación y manutención de ecosistemas	(I _{RME})		
	Modificación en la vegetación	(I _{MV})		
Hidrológico	Alteración de caudales	(I _{AO})		
Sedimentológico	Régimen sedimentológico	(I _{RS})		
Somatória dos pesos			100	100

PREGUNTA 2 – Observaciones en relación a la metodología propuesta:

1- ¿Desde su punto de vista sería conveniente la proposición de otros indicadores o la eliminación de alguno de los propuestos?

2- ¿Existe alguna observación o comentario adicional a respecto de la metodología propuesta?

Datos de contacto:

Investigadores: Edwin Andrés Mancilla Rico

Tel: +(55)(31) 9489.6042

E-mail: ing.andresmancilla@hotmail.com

Priscilla Macedo Moura

Tel: +(55)(31) 3409.3684

E-mail: Priscilla.moura@ehr.ufmg.br

Marcio Benedito Baptista

Tel: +(55)(31)3409.4081



E-mail: márcio.baptista@ehr.ufmg.br

Dirección: Av. Antonio Carlos, 6627- Campus Pampulha - 31 270-901

Escuela de Ingeniería de la UFMG – Bloque I, 4º piso

Belo Horizonte – MG

APÊNDICE 02

	<p style="text-align: center;">Universidade Federal de Minas Gerais Escola de Engenharia Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.</p>	
---	---	---

ATRIBUIÇÃO DE PESOS A INDICADORES PARA PRIORIZAÇÃO DE INTERVENÇÕES EM TRECHOS DE CURSOS DE ÁGUA

Introdução

A presente pesquisa está sendo realizada no trabalho de mestrado intitulado “Metodologia para priorização de intervenções em trechos de cursos de água: Estudo de caso trechos Bolonia e Yomasa, Bogotá – Colômbia”, em desenvolvimento no Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais.

Esta pesquisa visa estabelecer uma metodologia para priorização de intervenções em trechos de cursos de água, com o objetivo de subsidiar a tomada de decisão quanto à priorização de intervenções, focado na restauração destes.

Para a avaliação da priorização de intervenções em trechos de cursos de água, foram escolhidos indicadores de estado, de forma qualitativa e quantitativa, conforme categorias de aspectos (sanitários, risco de inundação, ambientais, hidrológicos, sedimentológico e sociais) de forma interdisciplinar abordando a complexa realidade e problemática dos cursos d'água.

A utilização dos indicadores estará vinculada a atribuição de pesos a cada um deles e para tal propõe-se que os profissionais consultados respondam as questões apresentadas neste questionário de pesquisa, sendo garantido o anonimato de cada participante.

Nesse sentido, a metodologia proposta para atribuição de pesos aos indicadores foi definida em um primeiro momento atribuir pesos a cada um dos aspectos de forma que a soma desses pesos atribuídos seja igual a 100 pontos. Posteriormente devem ser arbitrados os valores dos pesos dos indicadores, de acordo com a relevância dentro da categoria, de forma que a soma destes seja igual ao pesos dos aspectos.

Com a atribuição de pesos a cada categoria de aspecto e respectivos indicadores poderá, então, ser realizada uma comparação entre diferentes priorizações de intervenção em trechos de cursos de água.

Pedimos ainda, que, em um segundo momento, seja realizada a avaliação dos indicadores propostos de forma a validá-los, verificando a pertinência destes, se for o caso excluindo ou acrescentando algum aspecto que deva ser utilizado na metodologia.

É apresentada, ainda uma breve descrição de cada um dos indicadores, assim solicitamos o preenchimento da Tabela de atribuição de pesos dos indicadores após uma reflexão sobre o tema.

Nome: _____
 Formação profissional: _____
 Área de atuação: _____
 Instituição: _____
 Endereço eletrônico: _____

QUESTAO 1 – Atribuição de pesos as categorias de aspectos e seus respectivos indicadores.

Aspecto	Indicador		Peso aspectos	Peso Indicador
Sanitário	Vertimento de águas residuais	(I _{VAR})		
	Proliferação de vetores	(I _{PV})		
Risco de inundação	Inundação no local	(I _{IL})		
Ambiental	Estabilidade de margens	(I _{EM})		
	Recuperação e manutenção de ecossistemas	(I _{RME})		
	Modificação na vegetação	(I _{MV})		
Hidrológico	Alteração das vazões	(I _{AV})		
Sedimentológico	Regime sedimentológico	(I _{RS})		
Somatória dos pesos			100	100

QUESTAO 2 – Observações em relação à metodologia proposta:

1- Desde seu ponto de vista seria conveniente a proposição de outros indicadores ou a eliminação de algum dos propostos?

2- Haveria alguma observação ou comentário adicional a respeito da metodologia proposta?

Dados para contato:

Pesquisadores: Edwin Andrés Mancilla Rico

Tel: +(55)(31) 9489.6042

E-mail: ing.andresmancilla@hotmail.com

Priscilla Macedo Moura

Tel: +(55)(31) 3409.3684

E-mail: Priscilla.moura@ehr.ufmg.br

Marcio Benedito Baptista

Tel: +(55)(31)3409.4081

E-mail: márcio.baptista@ehr.ufmg.br

Endereço: Av. Antônio Carlos, 6627- Campus Pampulha - 31 270-901

Escola de Engenharia da UFMG - Bloco I, 4º Andar

Belo Horizonte - MG

APÊNDICE 03

Registro fotográfico da situação atual dos trechos de Bolonia e Yomasa, na cidade de Bogotá D.C.

- **Trecho de Torrente Bolonia**



Fotografia 1 – Nascente Trecho de torrente Bolonia

Observa-se o tipo de vegetação nativa e introduzida, para a preservação e conservação do trecho em seu estado natural.



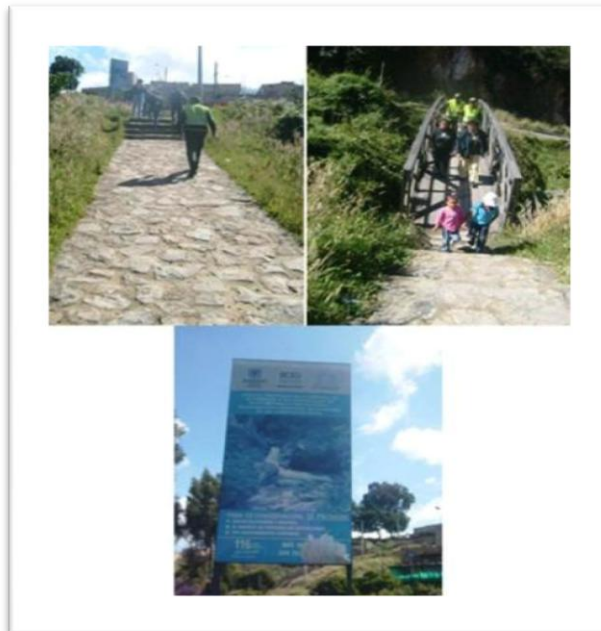
Fotografia 2 – Início da poluição do Trecho Bolonia por disposição de resíduos

A poucos metros da nascente do trecho já se começa a evidenciar a poluição, pela disposição ilegal de resíduos sólidos, materiais de construção na área da faixa de proteção do mesmo.



Fotografia 3 – Presença de cultivos na área da faixa de proteção do trecho Bolonia

Evidencia-se na zona da faixa de proteção do trecho e de sua nascente o desenvolvimento da atividade de cultivos de batata e ervilha, aleé da ocupação por casas construídas pelos moradores da área.



Fotografia 4 - Intervenções realizadas pela Empresa de Acueducto de Bogotá

Obras e projetos de conscientização ambiental desenvolvidas pela EAAB, como caminhos de pedestres e passarelas dentro do trecho de torrente Bolonia.



Fotografia 5 – Áreas de lazer adjacentes na área da faixa de proteção do trecho



Fotografia 6 – Apropriação por parte da comunidade das áreas de lazer adjacentes no trecho, mediante o desenvolvimento de projetos artísticos, que são ministrados pela Pontifícia Universidade Javeriana mediante seu projeto PROSOFI



Fotografia 7 – Obras inacabadas e sem manutenção por parte das entidades competentes



Fotografia 8 – Disposição de resíduos sólidos na área da faixa de proteção e no curso do trecho de torrente



Fotografia 9 – Atividade de urbanização e pastagem na área da faixa de proteção do trecho



Fotografia 10 – Desembocadura do Trecho de torrente Bolonia no Trecho de torrente Yomasa

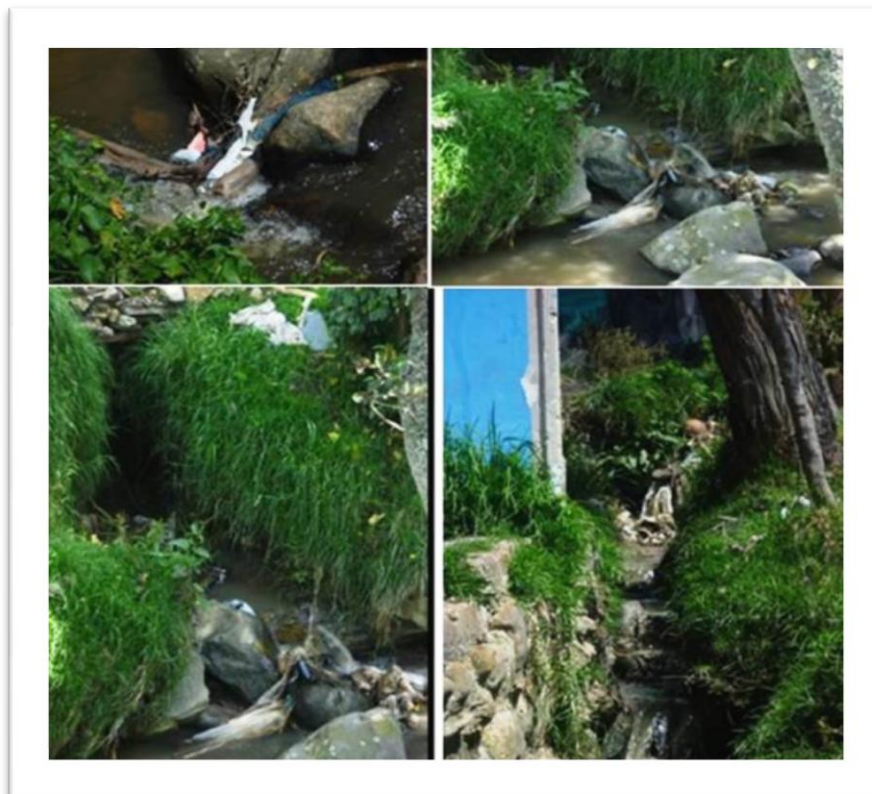
Observa-se a deterioração do recurso hídrico dos trechos de torrentes, pela poluição, vertimento de águas servidas e residuais, além da disposição de resíduos sólidos nos cursos de água.



Fotografia 11 – Desembocadura do Trecho de torrente Bolonia

Observa-se a deterioração do recurso hídrico do trecho de torrente, a disposição de resíduos sólidos, além da perda de área da faixa de proteção do mesmo.

- **Trecho de Torrente Yomasa**



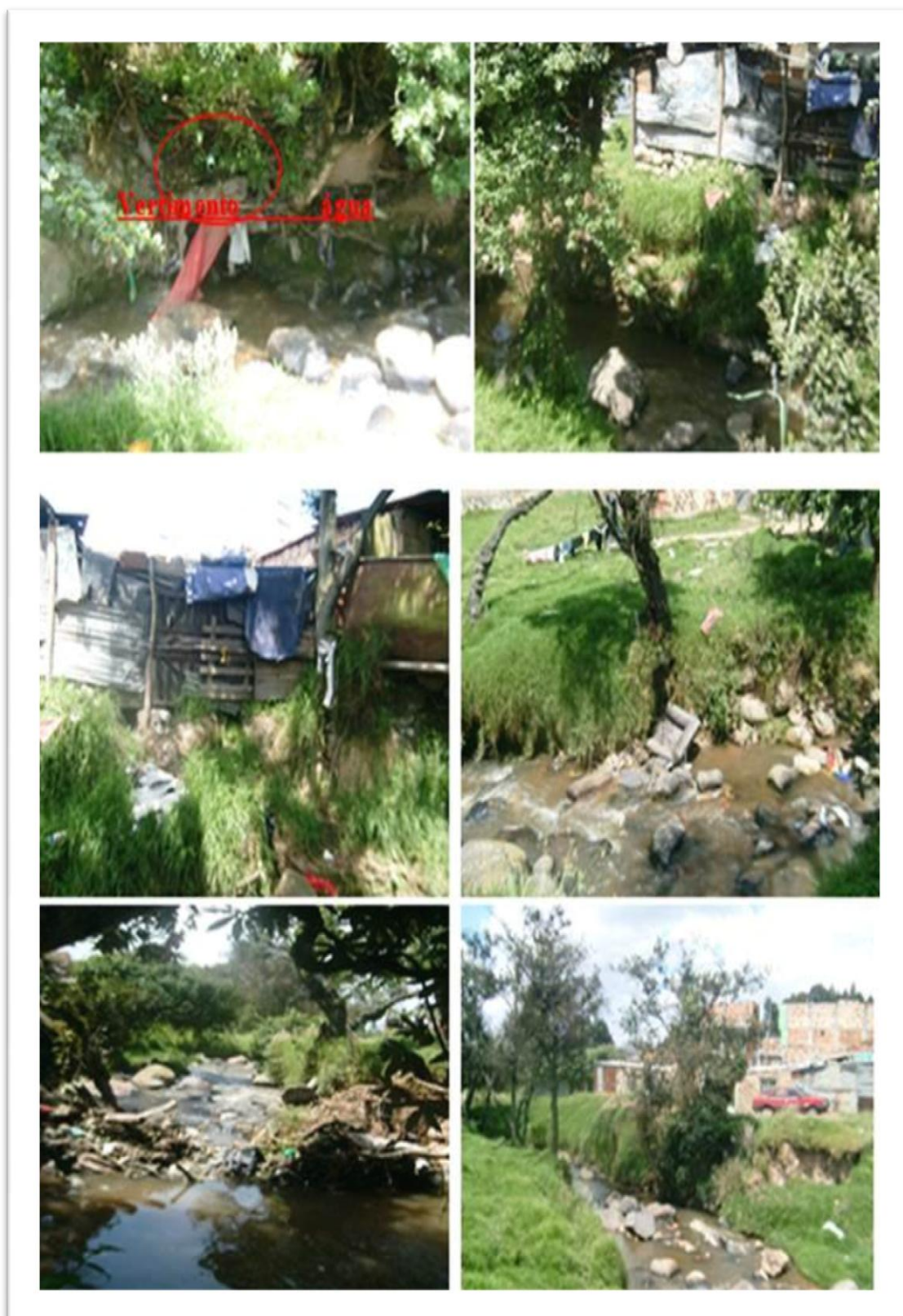
Fotografia 12- Trecho de Torrente Yomasa

Observa-se a poluição do torrente pela disposição de resíduos sólidos, além da presença de moradias na área da faixa hidráulica e de preservação.



Fotografia 13- Deterioração do Trecho de Torrente Yomasa

Degradação da torrente pela disposição de resíduos sólidos, além da perda do curso natural e sua faixa hidráulica.



Fotografia 14- Invasão da área da faixa de proteção e de preservação da torrente por urbanização ilegal, degradação por vertimentos de esgotos e resíduos sólidos domésticos



Fotografia 15- Utilização da água do trecho poluído para o lavagem de roupa por parte dos moradores das área da faixa de proteção



Fotografia 16- Arraste de sedimentos encaminhados diretamente ao trecho



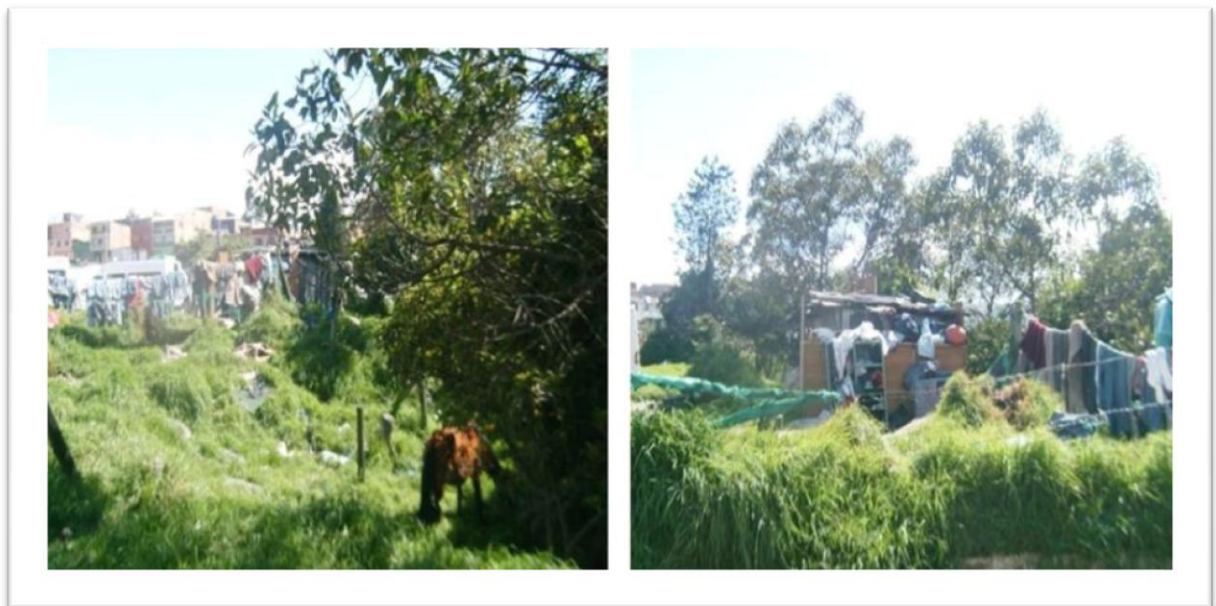
Fotografia 17- Disposição de resíduos sólidos, além de pastagem de gado na área de faixas de proteção



Fotografia 18- Obras de mitigação de impactos (gabiões) e disposição final de escombros nas áreas das faixas de proteção



Fotografia 19- Vertimento de águas servidas e residuais ao trecho. Igualmente observa-se obras de contenção e mitigação de inundações



Fotografia 20- Problemática relacionada com a invasão de áreas das faixas de proteção, pela construção ilegal de moradias

Aproveitamento do recurso hídrico para realização de atividades domésticas e pecuárias.