

Metodologia para Avaliação de Alternativas de Intervenção em Cursos de Água em Áreas Urbanas

Adriana Sales Cardoso, Márcio Benedito Baptista

Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos – EE-UFMG

adriana.projetos@gmail.com; marcio.baptista@ufmg.br

Recebido: 26/01/09 - revisado: 26/04/10 - aceito: 17/01/11

RESUMO

Em áreas urbanas, as alternativas tradicionais de intervenção em cursos de água, geralmente baseadas na sua canalização e retificação, não têm se mostrado satisfatórias, estando associadas a diversos tipos de impacto. Nesse sentido, novas abordagens para tratar a questão, ambientalmente mais integradas, despontam como solução.

Nesse quadro, a escolha do sistema de drenagem a ser implantado e do tratamento a ser dado aos cursos de água reveste-se de importância essencial. No entanto, no contexto do processo decisório citado, observa-se a ausência de metodologias de auxílio à decisão que permitam a avaliação e comparação entre possíveis soluções de projeto. Sendo assim, a presente pesquisa visa, de certa forma, preencher a lacuna observada, propondo uma metodologia voltada para o diagnóstico e a avaliação de alternativas de intervenção, fundamentada na premissa de que a mudança da abordagem tradicional de isolamento e supressão das águas superficiais da paisagem das cidades contribui para a minimização dos impactos negativos da urbanização sobre o meio ambiente e a população.

A sistemática de análise em questão baseia-se em uma avaliação qualitativa das intervenções com o uso de indicadores - propostos pelos autores e ponderados por meio de consultas a especialistas – e estrutura-se em quatro fases distintas. A primeira delas volta-se para a delimitação e diagnóstico do trecho do curso de água a sofrer intervenção. A segunda corresponde à identificação de alternativas, baseada no diagnóstico previamente realizado e nos objetivos da intervenção. A avaliação das alternativas, correspondente à terceira fase, é resultante da pontuação dos impactos associados a cada indicador, que leva, finalmente, à última fase, de comparação entre as alternativas, realizada por meio de análise de desempenho das soluções propostas, com base na agregação dos indicadores por meio de ponderação simples.

O presente documento apresenta a metodologia proposta e a sua aplicação a um estudo de caso, realizado na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais. Os resultados obtidos e a análise de sensibilidade e robustez realizada permitiram identificar a utilidade da metodologia na escolha de soluções pré-estabelecidas, abrindo possibilidades, ainda, para concepção de novas alternativas de intervenção.

Palavras-chave: cursos de água urbanos, intervenções urbanas, indicadores, análise multicritério.

INTRODUÇÃO

Em áreas urbanas, os rios configuram-se como estruturas de fundamental importância na construção da paisagem, representando não apenas valores ambientais, mas também culturais e estéticos, que se materializam por meio de suas inserções paisagísticas, usos e apropriações. No entanto, em decorrência do processo acelerado e desordenado de produção e ocupação do espaço urbano, diversas modificações nas condições naturais do meio têm sido observadas, como a interferência no ciclo hidrológico – com a alteração das condições naturais de infiltração - e a canalização de rios e córregos. Ambas as intervenções contribuem para a redução

do tempo de concentração das bacias hidrográficas, aumentando os volumes escoados e potencializando os fenômenos de enchentes.

No tocante às intervenções diretas, nota-se que as alternativas usualmente adotadas - baseadas na canalização e retificação de cursos de água – com vistas à contenção de inundações e estruturação do sistema viário, não têm se mostrado satisfatórias, nem do ponto de vista hidrológico nem do ponto de vista ambiental, com a potencialização dos impactos negativos da urbanização, amplamente descritos na literatura (Asakawa *et al*, 2004; Reichert *et al*, 2007; Riley, 1998; Tucci, 2002 e 2003). No caso brasileiro, a estruturação do sistema viário ocorre, frequentemente, junto aos fundos de vale, constituindo as

avenidas sanitárias, evidenciando a estreita relação existente entre o sistema viário e o fluvial.

Diante desse quadro e da possibilidade de neutralização ou ampliação dos efeitos da urbanização, a escolha do sistema de drenagem a ser implantado e do tratamento a ser dado aos cursos de água assumem papel de extrema importância (Baptista *et al*, 2005).

Ainda, atualmente, a degradação dos cursos de água e os seus respectivos impactos negativos sobre a população e o meio ambiente têm despertado o reconhecimento da importância de se preservar os sistemas naturais remanescentes e recuperar os ambientes degradados. Assim, novas abordagens para tratar a questão, ambientalmente mais integradas, estão sendo gradativamente mais utilizadas (Castro *et al*, 2004; Pompêo, 2000; Rohde *et al*, 2006; Wade *et al*, 1998; Wohl *et al*, 2005), como a adoção de técnicas compensatórias de drenagem urbana e de medidas visando a restauração ou o restabelecimento das condições e processos naturais de funcionamento de canais.

A presente pesquisa insere-se, exatamente, no contexto do processo decisório citado, visando o apoio a técnicos e gestores nas tomadas de decisão, à luz das limitações da abordagem clássica – fundada na rápida evacuação das águas pluviais por meio da canalização e retificação de cursos de água – e das possibilidades das novas formas de intervenção. Adota-se a premissa da conveniência de recuperação e preservação dos cursos de água em áreas urbanas, considerando que a mudança da abordagem tradicional de isolamento e supressão das águas superficiais da paisagem das cidades contribui para a minimização dos impactos negativos da urbanização.

Deve-se ainda ressaltar que as sistemáticas para avaliação das condições de cursos de água usualmente empregadas, como a proposta pelo *River Styles Framework* (Brierley e Fryirs, 2008) e pelo *Système D'Évaluation de La Qualité* (Oudin, 2001), ou são mais aplicáveis a bacias rurais ou requerem um levantamento de dados extremamente amplo e pouco expedito, o que muitas vezes dificulta ou até mesmo inviabiliza a sua aplicação em áreas urbanas. Ainda, os indicadores por vezes propostos são, em muitos casos, bastante complexos, implicando em análises quantitativas detalhadas, cujos cálculos requerem o uso de ferramentas computacionais específicas.

Dessa forma, este documento apresenta uma sistemática para avaliação e comparação de alternativas de intervenção em cursos de água de fácil aplicação (voltada para a fase de estudos preliminares), baseada na construção de indicadores de

impacto (hidrológicos/hidráulicos, ambientais, sanitários, sociais e no curso de água), devidamente descritos no item a seguir. Conforme considerações de Bertrand-Krajewski *et al* (2002) e estudos específicos já realizados (Moura *et al*, 2009), indicadores de desempenho assumem um importante papel na concepção e operação de sistemas de drenagem urbana, tendo-se em vista a complexidade dos fatores envolvidos com a questão, como os aspectos e as limitações técnicas, ambientais e sócio-econômicas, dentre outras. Sendo assim, indicadores de desempenho são elementos importantes para auxiliar as tomadas de decisão que envolvem a análise integrada de múltiplas variáveis, com grande potencial de utilização em recursos hídricos (Castro *et al*, 2009), pela simplicidade e abrangência.

A metodologia desenvolvida, apresentada de forma detalhada ulteriormente, foi aplicada a três estudos de caso reais na Região Metropolitana de Belo Horizonte/MG (Cardoso, 2008), sendo um desses estudos descrito no presente documento. Finalmente, efetuou-se uma análise de sensibilidade e robustez, evidenciando a consistência, a coerência e a facilidade de aplicação da metodologia, que pode vir a constituir uma ferramenta útil de auxílio à decisão na fase preliminar de análise de projetos.

INDICADORES DE IMPACTO

A metodologia para avaliação de intervenções em cursos de água proposta por esta pesquisa é fundada na análise qualitativa de um conjunto de indicadores associados a cinco categorias de impacto (Tabela 1). A sua proposição se deu após a realização de uma vasta pesquisa bibliográfica com o intuito de se encontrar publicações relacionadas ao tema. No entanto, conforme mencionado anteriormente, as propostas relacionadas à avaliação de cursos de água, quando consideram os rios urbanos, não preenchem plenamente a lacuna referente à necessidade de uma metodologia de aplicação expedita e que considere a avaliação integrada de múltiplos aspectos, inclusive os sociais. Dessa forma, no que tange a avaliação de alternativas de intervenção em rios e córregos urbanos, não foram encontrados trabalhos similares.

A proposição das categorias de impacto e dos seus respectivos indicadores foi realizada buscando-se abranger o maior número possível de condições e aspectos impactados quando da intervenção em cursos de água. Os indicadores foram submetidos à apreciação de 21 profissionais (projetistas,

consultores, órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos, prefeituras e pesquisadores), tendo sido obtidas 17 respostas. Solicitou-se a atribuição de um valor percentual a cada indicador, atribuindo-se, assim, um peso relativo a cada impacto. Apesar das limitações do universo amostral, com apenas 17 entrevistas, considera-se que a mesma é significativa para a pesquisa realizada, tendo em vista, sobretudo, a diversidade de perfil dos entrevistados.

Tabela 1 – Impactos da intervenção e seus indicadores.

Impactos da intervenção	Indicador	Peso categoria	Peso indicador	CV %
Impactos no curso de água	1-Forma/ sinuosidade	17,5	8,0	48
	2-Leito e margens		9,5	46
Impactos hidrológicos/hidráulicos	3-Condições de vulnerabilidade e inundações no local	26,0	14,5	29
	4-Vazões de jusante		11,5	38
Impactos ambientais	5-Processos de erosão e assoreamento	26,0	9,0	33
	6-Diversidade de habitats		5,3	56
	7-Áreas verdes adjacentes ao corpo de água		6,5	30
Impactos sanitários	8-Impacto paisagístico	8,0	5,2	44
	9-Proliferação de insetos		8,0	65
Impactos sociais	10-Áreas e equipamentos urbanos e de lazer	22,5	9,8	37
	11-Remoção da população		8,2	51
	12-Valorização financeira da área		4,5	47
Total		100	100	

Também cabe ressaltar que, apesar do fato de que o enquadramento dos indicadores em categorias possa soar artificial, uma vez que alguns deles podem estar relacionados a mais de uma categoria, a finalidade essencial da sua proposição foi a de orientar e facilitar a pontuação dos indicadores por parte dos entrevistados.

A Tabela 1 apresenta a média dos pesos atribuídos pelos entrevistados a cada categoria e aos seus respectivos indicadores, assim como seus coeficientes de variação (CV).

Como pode ser observado, o coeficiente de variação obtido para cada um dos indicadores propostos apresentou valores elevados. Esse resultado já era de se esperar, visto que os profissionais consultados apresentam diferentes formações e focos de interesse.

Neste ponto, ressalta-se um aspecto positivo da metodologia, uma vez que a média dos pesos atribuídos a cada indicador poderá variar de acordo com as especificidades de cada caso, dentro dos limites de desvio padrão obtidos na pesquisa realizada

junto aos entrevistados (devendo sua soma perfazer sempre o total de 100 pontos). Desse modo, a proposta metodológica em questão apresenta-se suficientemente flexível para atender situações específicas, considerando-se que a importância de cada indicador poderá variar, não necessariamente coincidindo com as médias constantes da Tabela 1.

A seguir são apresentadas algumas considerações relativas a cada um dos indicadores propostos.

- **Forma/sinuosidade:** busca-se a avaliação do impacto da alternativa de intervenção em análise na forma e na sinuosidade do trecho em estudo, tais como alargamentos, retificações, etc.
- **Leito e margens:** este indicador tem como objetivo avaliar a configuração do leito e das margens do canal (natural, aberto, fechado, etc.), assim como os tipos de revestimentos propostos.
- **Condições de inundação no local:** neste caso, os impactos no nível de risco hidrológico e na susceptibilidade a inundações devem ser avaliados de acordo com os objetivos da intervenção e com as técnicas a serem empregadas.
- **Impacto sobre as vazões de jusante:** as alternativas de intervenção podem afetar as condições hidráulicas no local e levar a eventuais alterações no nível de risco hidrológico a jusante. Assim, soluções que aumentem a velocidade do escoamento e, conseqüentemente, dos picos de cheia, serão possivelmente responsáveis por impactos negativos a jusante.
- **Processos de erosão e assoreamento:** as condições de erosão, estabilidade das margens do canal e assoreamento poderão ser reduzidas ou ampliadas de acordo com a adoção de determinadas alternativas.
- **Diversidade de habitats:** a diversidade de habitats está intimamente relacionada com a sinuosidade do canal e o seu tipo de revestimento, assim como com a variedade de espécies vegetais das áreas marginais, que criam um ambiente favorável para o desenvolvimento de espécies aquáticas, pássaros e insetos. Este indicador visa avaliar, portanto, como uma alternativa de intervenção impacta os habitats existentes, melhorando ou não as condições diagnosticadas no local.

- **Áreas verdes adjacentes ao corpo de água:** a existência de vegetação marginal é de grande importância para o curso de água, uma vez que protege as margens, controla os processos de erosão e assoreamento, contribui para a melhoria da qualidade da água e possibilita o aumento da diversidade de habitats. A magnitude dos impactos decorrentes da criação, redução ou eliminação de áreas verdes deve ser avaliada de acordo com os objetivos da intervenção, que em certos casos, inviabiliza a preservação desses espaços.
- **Impacto paisagístico:** a avaliação do impacto da intervenção sobre a paisagem deve considerar, como aspecto principal, a incorporação do curso de água como elemento do tecido urbano. A recuperação e preservação das áreas marginais, assim como da vegetação nativa, também devem ser avaliadas.
- **Proliferação de insetos:** além da qualidade da água, este aspecto pode ser uma consequência direta da adoção da alternativa de intervenção. A criação de bacias de retenção ou a construção de sistemas de drenagem ineficientes, por exemplo, podem provocar esse tipo de problema, devendo ser considerados responsáveis por impactos negativos na área de intervenção.
- **Áreas e equipamentos urbanos e de lazer:** a avaliação deste quesito deve ser realizada observando a existência dos seguintes aspectos: faixas e trilhas para pedestres, ciclovia, quadras esportivas, playground, mobiliário urbano, área verde para uso da população e iluminação pública.
- **Desapropriação, remoção e reassentamento da população:** em muitos casos, a implantação de determinadas alternativas de projeto somente é viável com a desapropriação, a remoção e o reassentamento da população do local objeto de intervenção. Esse tipo de medida, na maioria dos casos, acaba por gerar inúmeros conflitos sociais, decorrentes do rompimento de laços afetivos e de pertencimento ao antigo local de moradia e trabalho das famílias afetadas. Por esse ângulo, considera-se que o impacto gerado pela adoção de tal medida seja negativo. Por outro, quando se trata de áreas de risco à ocupação (geológico, de saúde pública, etc), por exemplo, seus efeitos serão positivos. Dessa forma, tendo-se em vista a complexidade dos fatores envolvidos com a

questão, observa-se a necessidade de uma avaliação bastante prudente das condições específicas de cada caso, de forma que se possa proceder a um correto balanço dos aspectos positivos e negativos decorrentes da adoção de tal tipo de intervenção. Cabe ainda ressaltar que, em função do uso da área a ser desapropriada e da natureza da ocupação do local (regular ou irregular), o impacto poderá ter magnitudes diferenciadas. Caberá ao responsável pela análise, portanto, o julgamento apropriado de todos os aspectos relacionados à questão.

- **Valorização financeira da área:** este indicador visa avaliar o impacto que as alternativas de intervenção poderão causar sobre o valor fundiário e imobiliário da área de estudo e seu entorno.

METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia para avaliação de intervenções em cursos de água proposta por esta pesquisa é fundada na análise qualitativa do conjunto de indicadores vistos anteriormente, cabendo ao analista do processo uma avaliação de cada um dos impactos gerados por cada solução em análise e a sua comparação com a condição previamente diagnosticada.

Ressalte-se que a avaliação aqui proposta se restringe ao trecho do canal para o qual as alternativas estão sendo estudadas e às suas áreas ribeirinhas, correspondentes a uma faixa estritamente ligada ao curso de água. Apesar de sua significativa relevância, a bacia onde se insere o curso de água não é considerada como unidade de estudo, sendo que a escala de intervenção em análise consiste de pequenas áreas adjacentes aos cursos de água, possivelmente já consolidadas em termos de ocupação urbana.

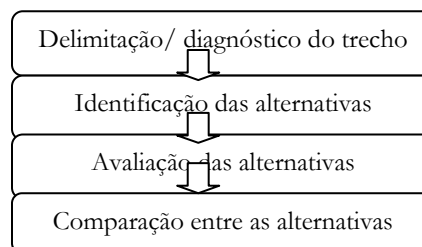


Figura 1 – Etapas metodológicas.

Dessa forma, para um trecho a sofrer intervenção, a avaliação das alternativas e a sua comparação devem ser realizadas conforme as etapas metodológicas apresentadas na Figura 1 e segundo a descrição que se segue.

Etapa 1: Delimitação e diagnóstico do trecho

Nesta fase deverá ser definida a extensão do curso de água a sofrer intervenção, assim como realizada a sua divisão em sub-trechos homogêneos, de forma que as propostas de intervenção possam ser formuladas e analisadas de acordo com características específicas.

Visto o caráter ainda preliminar da análise, a ser desenvolvida na fase de estudos e projetos básicos, o diagnóstico deve se basear em itens de fácil obtenção no local. Dessa forma, os seguintes aspectos deverão ser avaliados, em sintonia com o grupo de indicadores previamente definidos:

- Sinuosidade do canal;
- Configuração do leito e das margens;
- Condições das áreas ribeirinhas (taxa de ocupação, uso do solo, enquadramento legal etc.);
- Diversidade de habitats: no curso de água e nas áreas ribeirinhas;
- Condições de inundação;
- Existência de áreas verdes;
- Existência de áreas e equipamentos urbanos;
- Presença de insetos.

Em suma, as condições geomorfológicas, ambientais, sanitárias, hidrológicas/ hidráulicas e de uso e ocupação do solo em que se encontram o curso de água devem ser analisadas de forma realista e criteriosa, uma vez que o diagnóstico constitui a base para a avaliação dos impactos das alternativas de projeto.

Etapa 2: Identificação das alternativas de intervenção

Os estudos pré-existentes relativos a intervenções em determinado trecho de um curso de água certamente apontam para alternativas sintonizadas com o seu objetivo – controle de inundações, estruturação do sistema viário, etc. Entretanto, com base no diagnóstico realizado, é possível a identificação de alternativas de intervenção dentro da premissa de buscar-se a manutenção do curso de água nas condições mais naturais possíveis. Assim, além

das alternativas delineadas previamente, uma *alternativa desejável* pode, eventualmente, ser estabelecida, em condições desejáveis, mas de forma realista e compatível com as alterações já produzidas na bacia e com as condições específicas locais. Esta alternativa serve de balizamento como uma solução próxima do ideal na análise comparativa, permitindo ainda, eventualmente, a identificação de aspectos passíveis de melhoramento nos projetos das intervenções.

Etapa 3: Avaliação das alternativas de intervenção

As alternativas de intervenção identificadas devem ser analisadas através dos indicadores já descritos, por meio de uma avaliação qualitativa, realizada de acordo com a seguinte escala de pontuação: grande piora (-2), pequena piora (-1), indiferente (0), pequena melhora (+1) e grande melhora (+2). A situação diagnosticada no local deve ser considerada como referência e base de comparação para as demais alternativas, sendo que, para ela, todos os indicadores receberão pontuação equivalente a zero.

A avaliação global de cada alternativa corresponde à soma das avaliações qualitativas dos impactos associados a cada indicador, multiplicadas pelos seus respectivos pesos.

Etapa 4: Comparação entre as alternativas de intervenção

Nesta fase, a análise de desempenho das propostas de intervenção será possível à luz da comparação dos valores globais atribuídos a cada alternativa, assim como a cada um dos indicadores.

Dessa forma, as alternativas poderão ser comparadas com a real condição do curso de água, identificada no diagnóstico, e com a *solução desejável*, subsidiando o processo de escolha da melhor intervenção. A análise individual dos indicadores possibilita ainda, eventualmente, a identificação de melhorias nas soluções de intervenção delineadas.

Cabe ressaltar que, apesar da inquestionável importância, a introdução dos aspectos relacionados aos custos das alternativas não foi contemplada no âmbito da pesquisa desenvolvida. De fato, a metodologia aqui apresentada tem como foco apenas a avaliação do desempenho das soluções, devendo os custos constituir objeto de estudos futuros, mais amplos, uma vez que esses devem abranger, para efetiva consistência, também os aspectos de manutenção e operação, além dos custos de implantação, cuja obtenção é mais fácil e rápida.

ESTUDO DE CASO

Com a finalidade de avaliar a aplicabilidade da metodologia proposta a casos reais, foram realizados três estudos na Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais. No entanto, apenas um deles será apresentado no presente documento.

O curso de água contemplado – córrego Baleares - se localiza na região Norte do município em questão (bairro Jardim Europa), estando integralmente situado na região administrativa de Venda Nova. É afluente da margem esquerda do córrego Vilarinho, encontrando-se em sua maior parte em leito natural e apresentando alguns trechos em canal revestido fechado. A montante, observam-se trechos de topografia acidentada e, em praticamente toda a sua extensão (1,37 km), verifica-se a ocupação do fundo de vale. A área é habitada por população de baixa renda e é carente de infra-estrutura viária, de saneamento, dispositivos de drenagem e equipamentos de lazer.

Diante desse quadro, a Prefeitura de Belo Horizonte, por meio do Programa Drenurbs - Programa de Recuperação Ambiental e Saneamento dos Fundos de Vale e Córregos em Leito Natural de Belo Horizonte (Belo Horizonte, 2001) estudou três alternativas de intervenção para o tratamento do fundo de vale em questão, com vistas a suprir as carências da área e melhorar a qualidade de vida da população local.

De forma a enriquecer o estudo de análise e comparação entre as alternativas, na pesquisa que embasou este artigo (Cardoso, 2008) foram estabelecidas e analisadas outras propostas de intervenção, tornando o referido estudo mais completo. No entanto, apenas três soluções serão aqui avaliadas, tendo em vista as dificuldades de uma apresentação detalhada de todos os casos estudados.

Etapa 1 – Diagnóstico

Para a realização do diagnóstico do córrego da Avenida Baleares optou-se pela sua divisão em três trechos distintos (Figura 2), tendo em vista a heterogeneidade das condições do leito e das margens e da ocupação das áreas ribeirinhas.

- Trecho #1: trecho de jusante, retificado e fechado, com 130 metros de extensão, sem integração com a paisagem local, com ausência de vegetação e de problemas de inundação. Para todas as alternativas este trecho permanece conforme as condições diagnosticadas no local.

- Trecho #2: neste trecho, com 880 metros de extensão, o canal apresentava-se em sua maior parte em leito natural, mas com alterações de sinuosidade e margens. A presença de focos erosivos foi identificada em diversos pontos. Também foi observada a presença de gramíneas e vegetação alterada, bem como de população residindo nas áreas ribeirinhas, misto de ocupações regulares e irregulares.

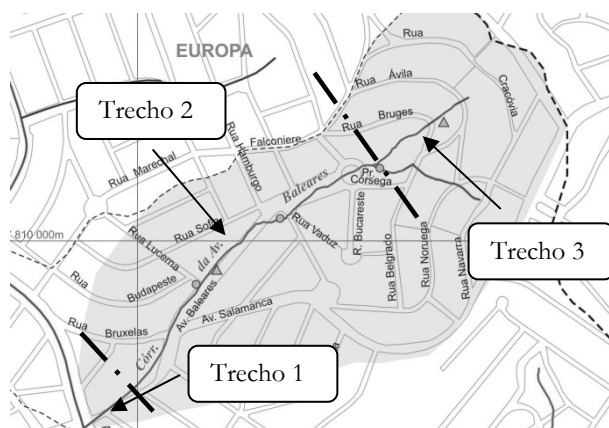


Figura 2 – Área de estudo do córrego da Avenida Baleares (Fonte: PRÁXIS Projetos e Consultoria Ltda).

- Trecho #3: canal em leito natural com 360 metros de extensão, observando-se ocupação irregular de áreas de preservação de elevada declividade. Constatou-se ainda a presença de inúmeros focos erosivos e problemas de instabilidade de taludes. Quanto à vegetação, observou-se a presença de gramíneas e de vegetação alterada, com espécies remanescentes de vegetação nativa.

Etapa 2: Identificação de alternativas

Alternativa de intervenção "A"

Para o trecho #2 é proposta a manutenção da sinuosidade da calha e a implantação de via na margem direita do canal. A construção de uma bacia de retenção para o controle de cheias (com capacidade de armazenamento de 4.800 m³) e de uma área de preservação permanente são as propostas para o trecho #3 (Figuras 3 e 4).

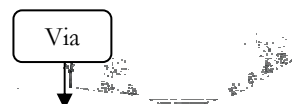


Figura 3 - Alternativa A, Trecho #2.

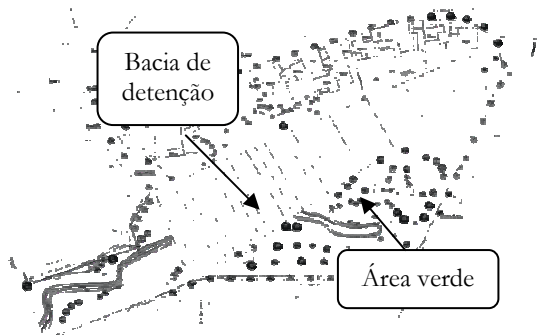


Figura 4 - Alternativa A, Trecho #3.

Alternativa de intervenção "B"

Na Alternativa B, efetivamente adotada, no tocante ao trecho #2 buscou-se a compatibilização entre a manutenção da sinuosidade e a implantação da via com um mínimo de remoção da população. Esta abordagem implicou em uma intervenção mais significativa na seção, como pode ser visto na Figura 5.

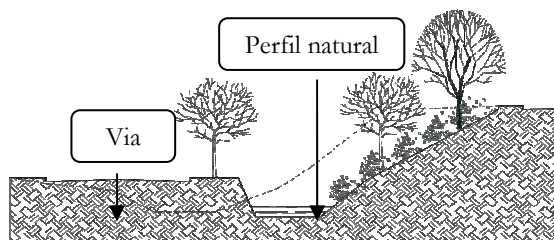


Figura 5 - Alternativa B, Trecho #2.

Para o trecho #3 foi prevista a remoção da população e a criação de uma extensa área de preservação ao longo do canal, com a criação de áreas e equipamentos de lazer (Figura 6).

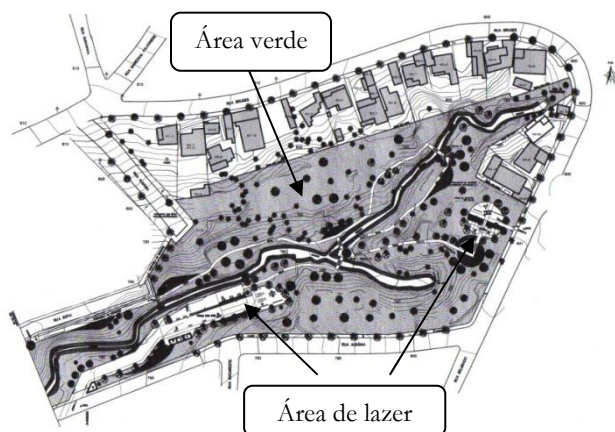


Figura 6 - Alternativa B, Trecho #3.

Alternativa de intervenção "C"

Com vistas a também possibilitar a análise de uma intervenção clássica, elaborou-se uma alternativa hipotética considerando a execução de uma avenida sanitária ao longo do córrego Baleares. Dessa forma, para os trechos #2 e #3 considera-se a canalização do córrego com a manutenção da sua calha aberta e revestimento do leito e margens em concreto armado (Figuras 7 e 8).

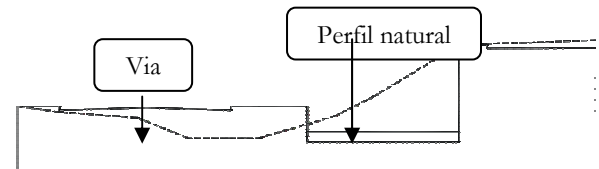


Figura 7 - Alternativa C, Trecho #2.

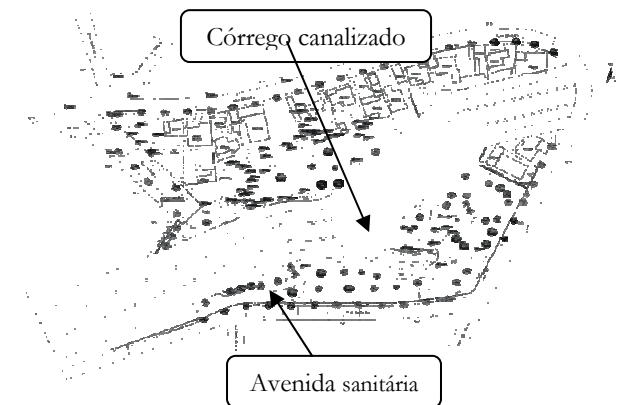


Figura 8 - Alternativa C, Trecho #3.

Etapa 3: Avaliação das alternativas

A Tabela 2 apresenta, para cada uma das alternativas em análise, o resultado da avaliação de impactos de cada indicador, variando de -2 a +2, multiplicado pelo seu respectivo peso.

Para o trecho #1, todas as alternativas propuseram a sua manutenção conforme a situação diagnosticada no local e, portanto, todos os indicadores de impacto receberam pontuação igual a zero.

Para os trechos #2 e #3 - que apresentavam extensões diferenciadas - procedeu-se a uma ponderação das notas atribuídas a cada um deles segundo o seu comprimento. Dessa forma, somando-se as notas referentes a cada trecho, chegou-se a uma pontuação global para cada um dos indicadores.

Tabela 2 – Resultado da avaliação das alternativas.

Grupos de Impacto	Indicador	Alternativa		
		A	B	C
No curso de água	1	-2,32	-2,80	-12,00
	2	+10,83	+13,40	-16,63
Hidrológicos /Hidráulicos	3	0	0	0
	4	+0,81	0	-11,50
Ambientais	5	+18,00	+18,00	+18,00
	6	+7,79	+6,10	-5,30
	7	+8,58	+7,93	-7,48
	8	+8,00	+7,44	-1,30
Sanitários	9	+3,36	+8,00	+12,00
Sociais	10	+7,25	+8,82	+2,74
	11	-11,73	-6,23	-4,10
	12	+5,18	+5,18	+6,75
Total		+55,75	+65,84	-18,82

Etapa 4: Comparação das alternativas

A análise dos resultados constantes da Tabela 2 permite constatar que a Alternativa B, efetivamente adotada, apresenta globalmente o melhor desempenho, agregando melhoria significativa ao local da intervenção, de forma similar à Alternativa A. Por outro lado, a alternativa hipotética C, correspondente à implantação de uma avenida sanitária, apresenta valor global negativo, indicando uma degradação no local da intervenção. Esta piora é também constatada praticamente em todos os indicadores de impacto.

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE E ROBUSTEZ

De forma a avaliar a sensibilidade e a robustez da metodologia proposta, foi realizada uma análise das alternativas de intervenção segundo três diferentes possibilidades de ponderação dos pesos dos indicadores, correspondentes a três diferentes visões a respeito da questão relacionada a intervenções em cursos de água urbanos.

A primeira ponderação, já apresentada, corresponde a uma visão considerada neutra, uma vez que adota diretamente os pesos obtidos por meio da pesquisa realizada junto aos profissionais. A segunda ponderação, denominada "*Tecnista*", corresponde a uma visão mais focada nos aspectos de desempenho técnico da intervenção. Finalmente, a terceira ponderação, "*Ambientalista*", reflete uma visão opos-

ta, ou seja, priorizam-se os aspectos ambientais em detrimento do desempenho técnico. Os pesos associados às diferentes visões mencionadas são apresentados na Tabela 3. Cabe ressaltar que, no caso das visões *Tecnista* e *Ambientalista*, a variação dos pesos dos indicadores foi realizada pelos autores deste artigo, dentro dos valores do desvio padrão de cada indicador, perfazendo sempre o valor total de 100 pontos.

Cabe ressaltar que a variação dos pesos, realizada dentro dos valores do desvio padrão de cada indicador, sofreu pequenos ajustes na pontuação para que a somatória final continuasse igual a 100. Na Tabela 3 indicou-se em negrito os pesos que tiveram pontuação elevada e em itálico aqueles com pontuação reduzida.

Para cada uma das alternativas em análise, o resultado da avaliação qualitativa de impactos de cada indicador foi multiplicado pelos novos pesos, de acordo com a avaliação em análise – neutra, *Tecnista* ou *Ambientalista* –, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 3 – Ponderação dos indicadores de acordo com as diferentes visões.

Indicador	Ponderação de base		Visão <i>tecnista</i>	Visão <i>ambientalista</i>
	Peso	D.P.	Peso	Peso
1	8,0	3,86	<i>4,14</i>	8,00
2	9,5	4,33	<i>5,17</i>	13,83
3	14,5	4,24	18,74	<i>12,26</i>
4	11,5	4,35	15,85	11,50
5	9,0	2,98	11,98	11,98
6	5,3	2,96	<i>2,34</i>	8,26
7	6,5	1,97	<i>4,53</i>	8,47
8	5,2	2,3	<i>4,71</i>	5,20
9	8,0	5,2	8,00	8,00
10	9,8	3,66	9,80	<i>6,14</i>
11	8,2	4,19	12,39	<i>4,01</i>
12	4,5	2,15	<i>2,35</i>	<i>2,35</i>
Total	100		100	100

De acordo com a avaliação realizada, nota-se que, para todas as visões em análise, não houve alteração na solução de base, ou seja, no ordenamento das alternativas. De fato, a Alternativa B apresenta-se

sempre melhor que as demais; a Alternativa C, correspondente a uma intervenção tradicional, sempre está associada a uma piora das condições locais, mesmo sob o enfoque tecnicista, que privilegia os indicadores mais técnicos em contraposição aos ambientais. Acredita-se que a robustez da metodologia fica assim demonstrada.

Tabela 4 – Avaliação global das alternativas de intervenção.

Alternativa			
Visão	A	B	C
Neutra	+55,75	+65,84	-18,82
Tecnicista	+42,02	+54,86	-3,81
Ambientalista	+74,42	+81,11	-27,80

Por outro lado, constata-se variações significativas na avaliação dos indicadores, evidenciando a sensibilidade da metodologia proposta. De fato, nota-se que uma pequena variação na avaliação qualitativa dos indicadores pode ter consequências significativas, podendo até mesmo alterar a colocação da solução em análise em relação às demais. Dessa forma, é de fundamental importância uma análise muito criteriosa dos impactos decorrentes de cada solução, de forma a não se comprometer o resultado final da avaliação.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos com a aplicação da metodologia e com a análise de sensibilidade realizada permitem discernir alguns aspectos interessantes, discutidos a seguir.

Inicialmente, o ordenamento das alternativas segundo as diferentes visões vem ao encontro da premissa assumida de que a adoção de soluções que considerem a manutenção das condições naturais de rios e córregos pode minimizar os impactos negativos da urbanização sobre o meio ambiente e a população. Esse resultado é reforçado pela ausência de alterações na análise de robustez efetuada.

Na pesquisa de mestrado desenvolvida foi também realizada uma avaliação das propostas de intervenção por trechos (#2 e #3), de forma que para cada um deles pudessem ser comparadas as pontuações das alternativas segundo as visões neutra, tecnicista e ambientalista. Em alguns casos, ficou evidente que algumas propostas, com concepções de intervenção bastante distintas, não apresentaram resultados globais tão discrepantes. Isto se deve ao fato de ocorrer uma situação de compensação decorrente da ponderação das notas obtidas por trechos, que apresentam extensões diferenciadas. No entanto, ao se proceder à análise parcial das alternativas, ou seja, por trechos, as diferenças e semelhanças existentes se tornam mais evidentes. Em situações em que as diferenças são muito visíveis, a seleção da melhor alternativa é relativamente simples; quando a diferença entre as notas é desprezível, o processo decisório torna-se mais complexo, implicando na necessidade de uma análise mais detalhada, indicador por indicador. Eventualmente, a introdução de novos critérios de comparação (e.g. custos) pode ser oportuna.

Diante do exposto, observam-se, então, duas possibilidades de avaliação de alternativas quando ocorre subdivisão de um trecho em segmentos distintos: a avaliação global – que pode tornar difusa as diferenças existentes entre as alternativas – e a avaliação parcial, que evidencia estas diferenças. Esta última abordagem permite a composição de novas alternativas de intervenção, resultado da combinação das melhores soluções propostas para cada trecho. No caso do estudo apresentado, a alternativa B foi considerada a melhor em ambas as formas de avaliação.

CONCLUSÕES

A metodologia desenvolvida para avaliação de alternativas de intervenção em cursos de água em áreas urbanas apresentou-se bastante satisfatória, permitindo nortear a escolha de soluções pré-estabelecidas com base em uma análise de desempenho multicriterial. Ainda, a análise individual dos indicadores propostos abre a possibilidade de construção de novas alternativas de intervenção. Assim, acredita-se que a aplicação da metodologia possa orientar tanto os profissionais envolvidos com a concepção de projetos quanto os órgãos ambientais, responsáveis pelo licenciamento ambiental desse tipo de intervenção.

Observou-se também a potencialidade da abordagem metodológica para subsidiar o estabelecimento de regulamentações específicas concernentes a intervenções em rios e córregos em áreas urbanas. Uma extensão do estudo para outras condições de uso do solo ribeirinho pode apontar para um possível quadro normativo, mais geral e abrangente.

Ainda, quanto à ampliação e continuidade dessa pesquisa, puderam ser identificadas algumas interessantes possibilidades, como o estudo das alternativas considerando-se a bacia como unidade espacial de análise, uma vez que a proposta de avaliação apresentada neste documento considera apenas a análise do curso de água e de suas áreas ribeirinhas, não contemplando de forma mais ampla os demais fatores que interagem na bacia. Também a associação dos indicadores propostos com outros que considerem os aspectos legais – como as Leis de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo, os Planos Diretores, dentre outros – os custos de implantação, operação e manutenção das soluções e a sua eficiência energética é outra perspectiva que se abre com o presente trabalho. Esse tipo de análise global tornaria a avaliação das alternativas muito mais complexa, mas ao mesmo tempo mais realista e abrangente, contemplando os diversos aspectos relevantes na tomada de decisão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ao Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CT-Hidro) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho. Agradecem, ainda, aos especialistas que contribuíram na construção dos indicadores propostos.

REFERÊNCIAS

- ASAKAWA, S.; YOSHIDA, K.; YABE, K. *Perceptions of urban stream corridors within the greenway system of Sapporo, Japan*. Landscape and Urban Planning, 68, p.167-182, 2004.
- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH, 2005. 226p.
- BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. Superintendência de Desenvolvimento da Capital. *Programa de Recuperação Ambiental e Saneamento dos Fundos de Vale e Córregos em Leito Natural da Cidade de Belo Horizonte – Conceitos e Princípios*. Belo Horizonte, 2001.
- BERTRAND-KRAJEWSKI, J.L.; BARRAUD, S.; BARDIN, J.P. *Uncertainties, performance and decision aid applied to stormwater facilities*. Urban Water, v.4, p. 163-179, 2002.
- BRIERLEY, G.; FRYIRS, K. *Geomorphology and river management: Applications of the river styles framework*. Singapore: Blackwell Publishing, 2008. 398p.
- 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.
- CASTRO, L.M.A.; BAPTISTA, M.B.; BARRAUD, S. *Proposição de metodologia para a avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos de água*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 14, p. 113-123, 2009.
- 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.
- MOURA, P.M.; BAPTISTA, M.B.; BARRAUD, S. *Avaliação multicritério de alternativas de sistemas de drenagem urbana*. REGA. Revista de Gestão de Águas da América Latina, v. 6, p. 31-42, 2009.
- LOUDIN, L.C. 2001. "River quality assessment system in France" in Proceedings MTM III - River quality assessment system in France. p.169-176.
- POMPÊO, C.A. *Drenagem Urbana Sustentável*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.5, n.1, p. 15-23, 2000.
- REICHERT, P.; BORSUK, M.; HOSTMANN, M.; SCHWEIZER, S.; SPORRI, C.; TOCKNER, K.; TRUFFER, B. *Concepts of decision support for river rehabilitation*. Environmental Modelling & Software, v.22, p. 188-201, 2007.
- RILEY, A. L. *Restoring Streams in Cities: A Guide for Planners, Policemakers, and Citizens*. Washington, D.C.: Island Press, 1998. 423p.
- 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.
- TUCCI, C.E.M. *Gerenciamento da Drenagem Urbana*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n.1, p. 05-27, 2002.
- TUCCI, C.E.M. *Inundações e Drenagem Urbana*. In: TUCCI, C.E.M.; BERTONI, J.C. *Inundações Urbanas na América do Sul*. Porto Alegre: ABRH, GWP, 2003. p 45-150.
- WADE, P.M.; LARGE, A.R.G.; WALL, L.C.de. *Rehabilitation of degraded river habitat: an introduction*. 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. 1-10.

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

PRÁXIS – Projetos e Consultoria Ltda. *RELATÓRIO DE CONTROLE AMBIENTAL. PROGRAMA DRENURBS. Bacia do Córrego Vilarinho. Sub-bacia do Córrego da Avenida Baleares*, 78 p.2003.

Methodology to Evaluate Alternatives for Intervention in Watercourses in Urban Areas

ABSTRACT

The traditional alternatives for intervention in watercourses, usually based on canalization and straightening, have not been satisfactory and have had major impacts, mainly in urban areas. The adoption of new, more environmentally integrated approaches is an alternative solution for intervention. Therefore, selection of drainage systems and type of treatment of watercourses are very important issues.

The present research is precisely in the context of the decision process mentioned, aiming to help decision-makers in their choice of project solutions. The proposed methodology, focused on the evaluation of alternatives for intervention in watercourses, is based on a qualitative assessment of impacts, through the use of performance indicators.

This paper presents the proposed methodology and its use in a case study performed in Belo Horizonte, Brazil. The results obtained and the sensibility and robustness analysis done show the usefulness of the methodology to choose intervention alternatives.

Key-words: *urban watercourses, urban interventions, indicators, multicriteria analysis*