

Sistemática de Validação de Indicadores para a Avaliação dos Efeitos da Urbanização nos Corpos de Água por meio de Análise Crítica

Leonardo Mitre Alvim de Castro

Agência Nacional de Águas – ANA
mitre@ana.gov.br

Márcio Benedito Baptista

Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos – EE-UFGM
marcio.baptista@ehr.ufmg.br

Sylvie Barraud

Laboratoire de Génie Civil et Ingénierie Environnementale – LGCIE
Institut National des Sciences Appliquées de Lyon – INSA
sylvie.barraud@insa-lyon.fr

Recebido : 20/10/08 - revisado : 18/08/09 - aceito : 04/10/09

RESUMO

O uso de indicadores para avaliação de empreendimentos ou alternativas de projeto na área de recursos hídricos tem sido cada dia mais freqüente. Por meio de indicadores, é possível quantificar diferentes aspectos, comparar alternativas de projeto ou empreendimentos distintos e escolher os melhores de acordo com critérios técnicos ou com os interesses do analista ou do decisor. Para que eles cumpram efetivamente suas funções, é preciso que os indicadores sejam verificados, validados e, eventualmente, que sejam realizados ajustes considerados necessários. Este artigo apresenta a sistemática de análise crítica utilizada para validar indicadores propostos para avaliar os efeitos da urbanização nos corpos de água. A análise crítica realizada avaliou a acessibilidade, objetividade, relevância, fidelidade, robustez e sensibilidade dos indicadores, com vistas ao atendimento do objetivo proposto para a metodologia. Para isso, baseou-se na comparação com sistemas atualmente aplicados, consulta a especialistas, estudos de caso de áreas em situações distintas e comparação com outros estudos, dentre outras análises. Em seguida, são apresentados, ainda, os resultados, que levaram à supressão, criação, junção ou melhorias nos indicadores. Finalmente, a análise crítica realizada mostrou-se uma ferramenta importante no processo de validação de indicadores, tornando-os de aplicação viável, com resultados mais claros e com sensibilidade, avaliando os aspectos necessários e sem mostrar ambigüidade nas verificações.

Palavras-chave: indicadores, análise crítica, drenagem urbana.

INTRODUÇÃO

O uso de indicadores para a avaliação de alternativas de projeto tem sido cada dia mais freqüente, em função da possibilidade de indicar valores para determinados aspectos que se deseja comparar. Entretanto, conforme Barraud *et al.* (2004), poucas pesquisas ou estudos têm lidado com a validação dos indicadores propostos e a verificação da qualidade das metodologias de avaliação de alternativas de projeto.

A qualidade de um processo de tomada de decisão depende dos indicadores adotados, do con-

junto de aspectos avaliados, bem como da metodologia de agregação utilizada.

Segundo Kastner (2003), a avaliação da qualidade de uma metodologia proposta pode ser realizada de duas formas. A primeira é baseada na definição *a priori* de um conjunto geral de critérios a serem avaliados, conforme Labouze e Labouze (1995), Personne (1998), Hart (1999), Bellagio (1996) e Pastille (2002). A segunda forma trata da análise *a posteriori* dos problemas verificados durante a aplicação da metodologia, conforme apresentado em Perrin (1998) e Riley (2001). Ao levar em consideração as principais idéias desses autores, a qualidade dos indicadores deve ser avaliada pelos seguintes aspectos:

- **Acessibilidade:** Os indicadores são factíveis de serem calculados e seus parâmetros básicos são possíveis de serem obtidos?
- **Objetividade:** Os indicadores são ambíguos? Há indicadores que avaliam os mesmos aspectos?
- **Relevância:** Os aspectos avaliados são relevantes para a análise de interesse?
- **Robustez:** Os indicadores e a metodologia apresentam resultados robustos?
- **Sensibilidade:** Os resultados dos indicadores conseguem discriminar diferentes estratégias?
- **Fidelidade:** os parâmetros propostos em suas expressões de cálculo são adequados para o que se deseja calcular?

Além desses aspectos, para a avaliação global de uma metodologia, é também relevante a verificação do número de indicadores. Com efeito, o seu número deve ser exaustivo para verificar os principais aspectos necessários, mas não deve ser excessivo, uma vez que pode levar à dificuldade na aplicação da metodologia.

Sendo assim, ao propor metodologias baseadas em indicadores e análise multicritério, há a necessidade de sua validação, com os devidos ajustes à sua aplicabilidade. A sistemática apresentada no presente artigo trata da validação de indicadores propostos para a avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos de água, podendo, ainda, ser replicada para outras tipologias de indicadores na área de recursos hídricos.

De forma geral, com o processo de urbanização, podem ser percebidas mudanças em aspectos relacionados à quantidade, qualidade ou regime dos cursos de água. Podem ser constatados efeitos como o aumento do consumo de água e dos efluentes lançados nos corpos de água na região, a poluição difusa, a impermeabilização do solo e a redução do tempo de concentração.

Um estudo relevante para avaliação desses efeitos é o de US-EPA (1999), que estima percentuais de redução dos volumes infiltrados em função da redução das áreas permeáveis. Quanto às técnicas de drenagem urbana, originalmente centradas na evacuação das águas, podem ampliar ou neutralizar os efeitos da urbanização, conforme o caso de sistemas clássicos ou compensatórios. O resumo dos impactos dos sistemas de drenagem pode ser verificado em Daywater (2003) e em Castro (2007).

Em síntese, conforme o tipo de urbanização e a técnica de drenagem escolhida, podem ser espe-

rados diferentes impactos, relacionados à quantidade, qualidade ou ao regime dos corpos de água em sua área de influência. Esses impactos podem ser benéficos ou prejudiciais, podendo indicar, no segundo caso, aumento de inundações ou problemas relacionados à qualidade das águas, culminando na perda de potencialidades de uso da água em meio urbano.

Castro (2007) propôs metodologia baseada no uso de indicadores e métodos de análise multicritério para avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos de água, com o objetivo de definir um empreendimento de desenvolvimento urbano como aceitável ou não para implantação.

Este artigo apresenta a análise crítica realizada visando a validação e consolidação da metodologia proposta por Castro (2007) e os resultados obtidos, que indicaram a necessidade de ajustes em alguns indicadores. As expressões de cálculo de cada indicador não são apresentadas no presente artigo, considerando ser objeto de outro artigo específico dos mesmos autores, nesta mesma publicação.

METODOLOGIA INICIALMENTE PROPOSTA

A metodologia proposta é baseada no uso de indicadores, que são agregados para avaliação global do empreendimento. A Figura 1 apresenta os indicadores inicialmente propostos para a avaliação de alterações nos aspectos de qualidade, quantidade ou regime existente nos corpos de água.

Em relação às formas de determinação, todos os indicadores propostos têm obtenção numérica, por meio de expressões de cálculo matemático, objetivando reduzir o caráter de subjetividade em sua avaliação. As expressões matemática, utilizando parâmetros obtidos por meio de estudos hidráulicos ou hidrológicos em função do projeto de urbanização. Os resultados esperados da aplicação das expressões de cálculo levaram a valores variáveis entre 0 e 1, sendo que os valores nulos são os piores e os unitários correspondem aos melhores na avaliação.

A agregação dos indicadores é realizada por meio da aplicação dos métodos de análise multicritério TOPSIS – *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (Hwang e Yoon, 1981) e Electre TRI - *Elimination Et Choix Traduisant Réalité* (Yu, 1992) de forma a determinar o nível de aceitação para implantação da alternativa de projeto em análise.

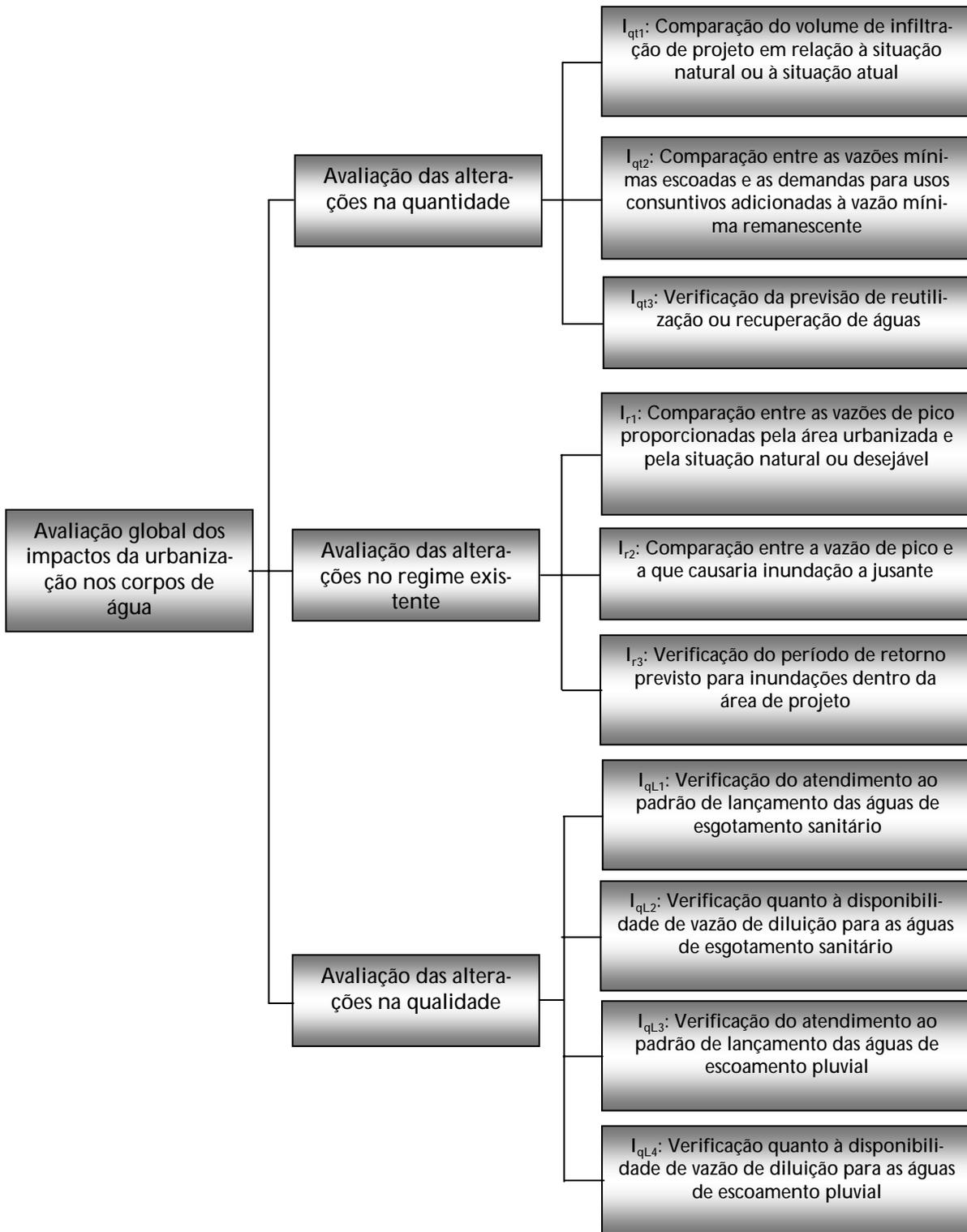


Figura 1 – Indicadores propostos para avaliação das alterações na qualidade, quantidade ou regime existente nos corpos de água

ANÁLISE CRÍTICA

A análise crítica realizada buscou verificar a metodologia e os indicadores propostos no que se refere à sua acessibilidade, relevância, fidelidade, objetividade, robustez e sensibilidade objetivando torná-los aplicáveis. Para isso, foram realizados diversos estudos, cuja metodologia e resultados são apresentados a seguir.

Comparação da metodologia proposta com aquelas utilizadas atualmente

A Política Nacional de Recursos Hídricos aplicada no Brasil foi instituída pela Lei Federal n.º 9.433/97 e dispõe sobre instrumentos a serem utilizados para sua gestão. Dentre esses instrumentos, está a outorga de direito de uso de recursos hídricos, que deve avaliar um empreendimento quanto às alterações provocadas na qualidade, quantidade ou regime existente dos corpos de água. Dessa forma, os aspectos avaliados pelos indicadores propostos foram comparados com aqueles aplicados atualmente nos procedimentos de outorga no País.

Quanto aos aspectos relativos à quantidade das águas, constantes da análise de empreendimentos realizada pela maior parte dos órgãos gestores, atualmente são definidas vazões de referência e percentuais máximos que podem ser autorizados para todos os usos múltiplos. As demandas dos empreendimentos são verificadas quanto a critérios de usos insignificantes, além do seu enquadramento dentro do percentual considerado "*outorgável*" da vazão de referência.

No entanto, nessas análises, não são observados aspectos referentes ao reúso de águas residuais tratadas ou à recuperação de águas pluviais para usos dentro da área de projeto. Essa questão é verificada na metodologia proposta e objetiva valorizar a minimização dos consumos na área de projeto por meio do aproveitamento das águas pluviais ou reaproveitamento de águas residuárias tratadas.

Outro aspecto proposto no estudo em análise e não considerado nas metodologias atuais é a verificação do volume infiltrado em relação à situação natural ou desejável. A mudança da cobertura vegetal de uma superfície altera o ciclo da água naquela área, notadamente no que se refere ao volume infiltrado. Uma vez tratando de efeitos relevantes causados pela urbanização, a impermeabilização e seus impactos na recarga de aquíferos devem ser considerados nas análises realizadas.

Quanto aos aspectos referentes às alterações de regime, principalmente em função da urbanização e da drenagem urbana, não foram encontrados critérios técnicos definidos por atos legais ou aplicados nos procedimentos correntes dos órgãos gestores de recursos hídricos. Segundo os procedimentos verificados nos órgãos gestores consultados, o analista faz sua verificação em função de cada solicitação isolada, não seguindo procedimentos padronizados ou critérios dispostos em legislação.

A metodologia em análise prevê a verificação de três aspectos no que se refere às alterações de regime proporcionadas pelos empreendimentos de desenvolvimento urbano, conforme já apresentado anteriormente. As análises visam a assegurar que o empreendimento em questão não amplie cheias ou inundações ou mesmo que reduza aquelas já existentes.

Sendo assim, quanto às alterações de regime dos corpos de água, considera-se que a metodologia proposta traz avanços no sentido de criar um procedimento de análise que pode ser aplicado para situações previstas em todos os Estados Brasileiros.

Tratando dos aspectos de qualidade das águas, os efluentes lançados nos corpos de água devem ser verificados quanto à sua concentração e aos seus impactos proporcionados, de forma a não alterar a sua classe de enquadramento. No entanto, os poucos órgãos gestores de recursos hídricos no Brasil que fazem análises quanto aos aspectos qualitativos referentes ao lançamento de efluentes aplicam metodologias distintas e, em alguns casos, não verificam de forma direta essas questões.

Os dois aspectos em questão são contemplados nos indicadores propostos para análise do lançamento de efluentes do sistema de esgotamento sanitário e das águas pluviais. Especificamente no que se refere aos efeitos da qualidade das águas pluviais foi verificado que não são considerados por nenhum dos órgãos gestores atualmente. Sendo assim, podem ser observados avanços na metodologia proposta, possibilitando a consideração de todos os aspectos previstos em legislação.

Em síntese, no que se refere aos aspectos técnicos de análise, verifica-se que a metodologia proposta mostra-se mais abrangente que as sistemáticas utilizadas atualmente, uma vez que, para as interferências nos corpos de água, são propostos indicadores que consideram aspectos não observados pelos sistemas atuais ou verificados por meio de metodologias distintas.

Essa análise global do empreendimento leva, entretanto, à necessidade de mais informações do empreendedor e de definição de limites legais

para cada um dos indicadores por parte dos analistas. Esse aspecto pode levar a uma maior complexidade da metodologia proposta em função do maior número de informações necessárias.

Consulta a especialistas

O segundo estudo realizado tratou da consulta a especialistas e visou aos seguintes objetivos:

- Verificação da pertinência dos indicadores propostos frente aos aspectos relevantes às alterações proporcionadas nos recursos hídricos pelo desenvolvimento urbano;
- Verificação da ausência de aspecto relevante dentre aqueles verificados pelos indicadores propostos;
- Análise de importância dos indicadores propostos.

Para isso, foram identificados os principais atores responsáveis pela proposição ou ajustes nos indicadores. Os especialistas consultados foram técnicos de órgãos gestores de recursos hídricos e pesquisadores.

Dessa forma, foi encaminhado um questionário a 10 pesquisadores de diferentes universidades e 11 técnicos de órgãos gestores de Estados que já possuíam metodologia de outorgas. Durante o período de 45 dias, foram obtidas respostas de 5 pesquisadores e 10 técnicos de órgãos gestores, com um índice médio global de respostas de cerca de 72%. A Tabela 1 apresenta os valores médios obtidos para os pesos dos indicadores. A cada um dos especialistas, foi solicitado que pontuasse cada indicador de forma que o somatório dos pesos correspondesse a 100, não havendo restrição quanto ao mínimo ou máximo atribuído a cada um deles. Dessa forma, os valores dos pesos apresentados na Tabela 1 correspondem ao valor percentual médio para cada grupo de especialistas.

Tratando dos pesos definidos, foram verificadas importantes diferenças entre as respostas. A principal delas foi que os pesquisadores deram maior importância aos aspectos relacionados às alterações de regime, enquanto os gestores consideraram maior relevância para as alterações quantitativas. Esse fato é, possivelmente, explicado em função dos órgãos gestores de recursos hídricos considerarem, atualmente, aspectos quantitativos em primeiro lugar. Por outro lado, os pesquisadores que responderam os questionários concentram seus estudos nas

interferências da drenagem urbana nos corpos de água, notadamente as técnicas compensatórias.

Tabela 1 – Média dos valores arbitrados pelos especialistas, por indicador (%)

Critério	Indicador	Média Pesquisad.	Média Gestores	Média (todos especialistas)
Quantidade	I _{qt1}	8,6	12,4	11,1
	I _{qt2}	8,4	12,0	10,7
	I _{qt3}	10,4	11,1	10,9
Regime	I _{r1}	13,4	10,5	11,5
	I _{r2}	15,8	10,9	12,6
	I _{r3}	10,8	8,7	9,4
Qualidade	I _{ql1}	10,8	9,1	9,7
	I _{ql2}	6,5	12,2	10,2
	I _{ql3}	8,8	5,7	6,8
	I _{ql4}	6,5	7,4	7,1

No caso dos indicadores referentes às alterações na qualidade das águas, pode ser observada maior tendência de concentração dos pesos sobre os indicadores referentes ao lançamento de efluentes domésticos, principalmente pelos gestores, o que foi relacionado por eles à dificuldade de obtenção de informações de qualidade das águas pluviais.

Quanto à pertinência, todos os especialistas afirmaram que os indicadores propostos consideram aspectos relacionados com as alterações provocadas pela urbanização nos corpos de água. No entanto, parte importante deles mostrou preocupação com a ausência de informações de qualidade das águas pluviais no Brasil e sua influência nos corpos de água. Em função dessa preocupação, poderia ser verificada dificuldade no cálculo dos indicadores I_{ql3} e I_{ql4}.

Os especialistas foram questionados a avaliar, ainda, os aspectos que poderiam estar ausentes entre os indicadores propostos. A maior parte dos comentários e das sugestões já eram contemplados nos parâmetros básicos utilizados nos cálculos dos indicadores. As outras sugestões foram relacionadas a aspectos sócio-econômicos, que não são previstos na metodologia proposta.

Como exemplo, pode ser comentada a sugestão de um indicador para tratar especificamente da impermeabilização.

No entanto, uma vez que o indicador I_{qt1} relaciona os volumes de infiltração médios anuais antes e após a implantação do empreendimento, ele trata da impermeabilização, indicando ao empreendedor a necessidade de que o volume infiltrado seja o maior possível. Sendo assim, a criação de outro

indicador específico sobre a impermeabilização acarretaria a redundância na consideração desse aspecto.

Estudo de caso 1 – Condomínio Vale dos Cristais

O loteamento “Vale dos Cristais” é localizado na Região Metropolitana de Belo Horizonte, ocupando uma área total de 587 ha, em uma região montanhosa, com declividades elevadas e predominância de solos argilosos, recobertos por vegetação remanescente de mata atlântica. A área é localizada a montante da sede da cidade de Nova Lima, que sofre freqüentes inundações, o que levou à aplicação de restrições relevantes em seu projeto de sistema de drenagem. Essa área foi escolhida como estudo de caso por estar em seu estado natural e pela utilização de técnicas compensatórias de drenagem urbana. Nesse sentido, as seguintes técnicas de drenagem foram aplicadas em seu projeto:

- Um cordão de trincheiras e valetas de retenção e infiltração;
- Estruturas de retenção temporária e infiltração junto aos pontos de deságüe das galerias de microdrenagem;
- Faixas verdes circundando o sistema de macrodrenagem;
- Uma bacia de retenção, drenando uma área de cerca de 110 ha.

Para a validação da metodologia, todos os indicadores foram aplicados e foram agregados por meio dos métodos multicritério de forma a verificar o resultado global da avaliação da área.

Os seguintes resultados foram obtidos para os indicadores que avaliaram os aspectos quantitativos:

- Os sistemas de infiltração previstos indicaram a recarga dos aquíferos em volumes superiores ao natural (I_{qt1}). No entanto, em função da impossibilidade de estimativa da qualidade das águas a serem infiltradas, não foi possível verificar seu efeito qualitativo nos aquíferos;
- O segundo indicador (I_{qt2}) foi considerado adequado para verificar a disponibilidade hídrica para atender aos consumos necessários da área e manter vazões remanescentes a jusante;

- O projeto não tem a previsão de reúso de águas residuárias ou recuperação de águas pluviais, o que prejudicou o cálculo de I_{qt3} .

Tratando das alterações no regime dos corpos de água, foram observados os seguintes resultados:

- A vazão de pico a jusante da área de projeto tem valor próximo ao da situação natural, considerando o período de retorno de estudo (I_{r1});
- A jusante da área de projeto, já ocorrem inundações, em função de residências instaladas nas planícies de inundação. Dessa forma, para o cálculo do indicador I_{r2} houve a necessidade de se tomar uma decisão subjetiva quanto ao não incremento da vazão de inundação ou redução de inundações existentes;
- O indicador I_{r3} foi eficiente para verificar a adequação do período de retorno de projeto, conforme parâmetro desejável obtido no Plano Diretor de Drenagem Urbana de Belo Horizonte.

Por fim, quanto aos indicadores que tratam das alterações na qualidade das águas, os seguintes resultados foram obtidos:

- O indicador I_{qL1} foi adequado para verificar a $DBO_{5,20}$ nos efluentes a serem lançados em relação ao valor máximo legal possível de ser autorizado;
- O segundo indicador I_{qL2} demonstrou a indisponibilidade hídrica nos corpos de água receptores para diluição das águas residuais tratadas, conforme previsão do projeto;
- Os indicadores referentes à qualidade das águas pluviais (I_{qL3} e I_{qL4}) não puderam ser calculados em função da indisponibilidade de informações adequadas à estimativa da concentração futura das águas pluviais da área quando urbanizada.

Aplicação dos indicadores por outros especialistas

A verificação da robustez dos indicadores foi realizada com o apoio de outros pesquisadores. As informações básicas do estudo de caso para cada um dos indicadores, bem como as expressões propostas, foram encaminhadas para três doutorandos de uni-

versidades distintas, solicitando que fizessem suas análises do projeto. Essa atividade visou verificar diferenças nos cálculos realizados por eles e pelos autores, de forma a alterar a decisão. Além disso, puderam ser verificadas as dificuldades na compreensão dos indicadores e dos parâmetros propostos.

Os resultados obtidos mostraram que os três especialistas consideraram os indicadores acessíveis e suas análises apresentaram pequenas diferenças. Além disso, os mesmos indicadores não calculados pelo autor por ausência de informações (I_{qL3} e I_{qL4}) também não foram obtidos pelos especialistas, que indicaram o mesmo problema.

Apenas um deles (I_{qL3}) calculado por um especialista teve resultado diferente. Esse especialista afirmou ter utilizado informações da qualidade das águas residuárias para estimar o mesmo parâmetro para as águas pluviais.

De forma geral, esses resultados mostraram robustez nos indicadores e na obtenção dos parâmetros necessários ao seu cálculo.

Estudo de caso 2 – Área urbanizada em Goiânia

O segundo estudo de caso realizado tratou de uma área intensamente urbanizada na cidade de Goiânia, com um total de 17 ha. Essa área já é submetida a inundações freqüentes, em função do grande percentual de impermeabilização e dos sistemas de drenagem existentes. Sendo assim, Milograna (2001) propôs três alternativas técnicas para melhoria da drenagem da área, considerando a ocupação prevista para a região a partir da Lei de Zoneamento e Uso do Solo aprovada em 1994, com índice de áreas impermeáveis médio de 88%. Os três cenários desenvolvidos foram os seguintes:

- Cenário I – Sistema clássico, com a adoção de uma rede separativa clássica, sem respeitar as restrições de vazão máxima a jusante;
- Cenário II – Sistema intermediário, com a incorporação de duas bacias de detenção em áreas públicas ao sistema clássico;
- Cenário III – Sistema intermediário, com a incorporação de bacias de detenção na saída de cada parcela ao sistema clássico.

A escolha dessa área foi pelo fato de já estar urbanizada e ter três alternativas de projeto possíveis de serem comparadas, objetivando a aplicação da metodologia para suporte à escolha de alternativas.

Assim como no estudo anterior, a metodologia foi aplicada de forma completa para os três cenários.

No caso dos indicadores para a avaliação dos aspectos quantitativos, foram obtidos os seguintes resultados:

- Nenhum dos três cenários prevê a implantação de técnica de infiltração. Dessa forma, os volumes infiltrados são bastante inferiores aos previstos na situação natural;
- Para os três cenários, o indicador I_{qt2} foi adequado para mostrar a disponibilidade hídrica para atendimento às demandas da área;
- Apesar de diferenças importantes nos volumes previstos para recuperação de águas na área entre os três cenários, o indicador I_{qt3} não mostrou resultados que refletissem tal diversidade. Nesse sentido, foi verificada a necessidade de ajustes nas expressões de cálculo.

Tratando dos indicadores para a avaliação das alterações de regime, foram verificados os seguintes resultados:

- O primeiro indicador (I_{r1}) demonstrou subjetividade na definição de um coeficiente de aumento permitido da vazão de pico. Esse indicador mostrou relação estreita com o segundo indicador (I_{r2}), indicando redundância nas análises;
- O período de retorno desejável para a região, utilizado no cálculo de I_{r3} , foi definido em função de referências bibliográficas, uma vez que não foi determinado no Plano Diretor.

Finalmente, quanto à análise das alterações na qualidade das águas, foi observado o seguinte:

- O Estado de Goiás não tem a definição do valor limite de $DBO_{5,20}$ constante nos efluentes lançados nos corpos de água, o que prejudicou o cálculo do indicador I_{qL1} .
- As expressões de cálculo do indicador I_{qL2} foram adequadas para demonstrar a indisponibilidade hídrica nos corpos de água receptores para diluição das águas residuais tratadas;
- Assim como no primeiro estudo de caso, os indicadores I_{qL3} e I_{qL4} não puderam ser calculados em função da ausência de

informações de qualidade das águas pluviais.

Com base nos indicadores calculados, os métodos de análise multicritério foram aplicados de forma a verificar a possibilidade de comparação dos três cenários desenvolvidos. Os resultados dos dois métodos foram semelhantes e mostraram a sobreclassificação clara dos cenários II e III em relação ao cenário I. No entanto, os dois foram considerados indiferentes entre si.

Agregação da metodologia com outras propostas

Os três cenários de desenvolvimento para a área urbanizada de Goiânia já haviam sido comparados por meio de duas metodologias de avaliação de alternativas de projeto. A primeira delas, conforme Castro (2002), propõe indicadores hidráulicos, sanitários, ambientais e sociais para a escolha de alternativas de projeto a serem implantadas. Posteriormente, Moura (2004) agregou indicadores econômico-financeiros de forma a complementar a metodologia de avaliação de alternativas. Essa avaliação não mostrou a necessidade de ajustes dos indicadores, uma vez que avaliavam aspectos distintos. Por outro lado, foi verificada a possibilidade de agregar a metodologia proposta a outras, com o objetivo de dar maior abrangência à avaliação global do desenvolvimento urbano.

RESULTADOS

A análise crítica dos indicadores objetivou verificar as necessidades de ajustes em suas expressões, parâmetros básicos ou sua pertinência. Para isso, as avaliações realizadas verificaram aspectos qualitativos dos indicadores no atendimento aos interesses propostos.

Nesse sentido, foi avaliada a necessidade de junção de indicadores, supressão, criação de novos e alterações nos parâmetros básicos ou nas expressões de cálculo. Vale ressaltar que os ajustes realizados mantiveram a idéia de cálculo numérico de todos os indicadores por meio de expressões matemáticas, reduzindo o caráter de subjetividade na sua obtenção. Também foram mantidos os resultados das expressões variando entre 0 e 1, sendo os valores nulos para os piores e os unitários os melhores na avaliação.

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2, para cada um dos indicadores.

Considerando que o presente artigo teve o objetivo principal de apresentar a sistemática de

análise crítica realizada, não são mostradas as expressões de cálculo de cada indicador, sendo objeto de outro artigo específico. Dessa forma, as expressões e variáveis utilizadas são apresentadas, na íntegra, em outro artigo dos mesmos autores nesta publicação e constam da tese de doutorado de Castro (2007).

Tabela 2 – Resultados da análise crítica realizada

Ind.	Resultados da análise crítica	Ajuste realizado
I_{qt1}	Ausência de robustez e acessibilidade nos parâmetros básicos de cálculo do indicador	Alterações nos parâmetros para dar maior clareza e objetividade em seus cálculos
I_{qt2}	Indicador está de acordo com todos os aspectos avaliados	-
I_{qt3}	Reduzida sensibilidade nos resultados na discriminação de situações distintas	Ajustes nas expressões de cálculo, de forma a dar maior sensibilidade nos resultados
I_{r1}	Indicadores mostraram ambigüidade, pelo fato de utilizarem os mesmos parâmetros básicos e avaliarem aspectos semelhantes	Junção dos indicadores I_{r1} e I_{r2} , avaliando os mesmos aspectos considerados
I_{r2}		
I_{r3}	Indicador está de acordo com todos os aspectos avaliados	-
I_{qL1}	Indicador está de acordo com todos os aspectos avaliados	-
I_{qL2}	Indicador está de acordo com todos os aspectos avaliados	-
I_{qL3}	Os parâmetros básicos dos indicadores foram inacessíveis, não sendo possíveis de serem obtidos	Exclusão dos indicadores I_{qL3} e I_{qL4} e criação de novo I_{qL3} para avaliar os aspectos em questão
I_{qL4}		

CONCLUSÕES

A análise crítica como forma de verificação e consolidação de uma metodologia proposta foi realizada por meio de sistemática inovadora, englobando diversas avaliações no mesmo processo e permitindo a realimentação da metodologia com ajustes e refinamentos como melhorias nos indicadores, aprovação dos métodos multicritério e definição de valores básicos a serem aplicados nos cálculos. Os indicadores foram avaliados quanto à possibilidade de obtenção de seus parâmetros básicos, sensibilidade de seus resultados, relevância, dentre outros aspectos.

A sistemática aplicada iniciou-se com a comparação da metodologia proposta com os sistemas aplicados atualmente. As conclusões desse estudo foram que os indicadores propostos consideram todos os aspectos avaliados nas metodologias utilizadas atualmente e avaliam, ainda, outros aspectos relevantes do desenvolvimento urbano.

Posteriormente, foram consultados especialistas que avaliaram a pertinência dos aspectos propostos e a ausência de pontos considerados relevantes, terminando por arbitrar pesos para os indicadores propostos. Essa análise concluiu pela indicação dos aspectos mais relevantes e de outros em que os especialistas sugeriam não haver informações suficientes para seu cálculo.

A seguir, foram realizados dois estudos de caso com áreas em situações de projeto distintas. O primeiro tratou de uma área natural com uma alternativa de projeto de urbanização de um condomínio aplicando sistemas compensatórios de drenagem. Nesse mesmo estudo a metodologia foi aplicada, ainda, por três outros doutorandos de universidades distintas para comparação de resultados. A aplicação da metodologia por outros doutorandos concluiu pela viabilidade de sua aplicação, de forma semelhante, por técnicos de órgãos gestores diferentes.

O segundo estudo de caso considerou uma área já urbanizada com três alternativas de sistemas de drenagem para a situação futura. Nessa situação puderam ser comparadas as alternativas de projeto entre si e os resultados foram cotejados com aqueles obtidos por meio de metodologias propostas em outros estudos.

Os estudos de caso realizados levaram aos ajustes técnicos necessários a cada um dos indicadores, de forma a torná-los acessíveis, objetivos, robustos, relevantes, fieis e apresentarem sensibilidade nos resultados.

De forma geral, pode ser concluído que a sistemática aplicada foi considerada eficiente para a verificação e consolidação da metodologia em questão, permitindo ser transposta e adaptada para outros casos e orientando novas pesquisas relacionadas aos recursos hídricos, hidrologia urbana ou mesmo outros domínios da ciência.

Dessa forma, vale ressaltar a importância da aplicação de sistemáticas de análise crítica para a verificação de indicadores e metodologias de avaliação propostas. Os diversos ajustes verificados necessários por ocasião da análise crítica levaram à viabilidade de aplicação da metodologia para os interesses para os quais ela foi proposta.

REFERÊNCIAS

- BARRAUD S., MIRAMOND M., ALFAKIH E. Critical analysis of the quality of a set of performance indicators used to qualify sustainability of urban infiltration storm water drainage systems. 4th International Conference on Decision Making in Urban & Civil Engineering. Porto, Portugal, 10 p. 28-30 de outubro de 2004.
- BELLAGIO PRINCIPLES: Guidelines for the Practical Assessment of Progress Towards Sustainable Development. Winnipeg, Manitoba, Canadá. International Institute for Sustainable Development (disponível em <http://iisd1.iisd.ca/measure/bellagio1.htm>). 1996.
- CASTRO, L. M. A. Proposição de metodologia para a avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos de água. Tese de Doutorado. UFMG. Belo Horizonte, MG. 297p., 2007.
- CASTRO, L. M. A. Proposição de indicadores para a avaliação de sistemas de drenagem urbana. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos da Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte. 118p, 2002.
- DAYWATER. Report 5.1. Review of the use of stormwater BMPs in Europe. Disponível em www.daywater.org, 98p., 2003.
- HART, M. Guide to Sustainable Community Indicators. Sustainable measures editors (USA) (<http://www.sustainablemeasures.com>). 1999.
- HWANG, C.; YOON, K. Multiple attribute decision making: methods and applications survey. Springer. 1981.
- KASTNER, A. Etude critique d'un jeu d'indicateurs pour l'évaluation des techniques alternatives d'infiltration des eaux pluviales. DEA Génie Civil - URGC – INSA de Lyon, França, 116 p. 2003.

- LABOUZE, E., LABOUZE, R. La comptabilité de l'Environnement. *Revue Française de Comptabilité*, N°272. 1995.
- MILOGRANA, J. Estudo de medidas de controle de cheias em ambientes urbanos. Dissertação de Mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília, DF. 106p., 2001.
- MOURA, P. M. Contribuição para a avaliação global de sistemas de drenagem urbana. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos da Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte. 164p., 2004.
- PASTILLE. Indicators into Action: a practitioners guide for improving their use at the local level. European Union FP5 report, 35 p. 2002.
- PERRIN, B. Effective Use and Misuse of Performance Measurement. *American Journal of Program Evaluation*. Vol. 19, N°3, pp. 367-379. 1998.
- PERSONNE, M. Contribution à la méthodologie d'intégration de l'environnement dans les PME-PMI : Evaluation des performances environnementales. Tese de doutorado – INSA de Lyon, França, 295 p. 1998.
- RILEY, J. Indicator quality, for assessment of impact of multidisciplinary systems, Agriculture, ecosystems and environment, Vol. 87, N°2, pp. 121-128. 2001.
- US-EPA. Preliminary data summary of urban storm water best management practices. US Environmental Protection Agency, EPA-821-R-99-012, 214p., 1999.
- YU, W. Aide multicritère a la décision dans le cadre de la problématique du tri : concepts, méthodes et applications. Tese de Doutorado. Université Paris-Dauphine. Paris, França. 1992.

to suppress, join or improve indicators. Critical analysis evaluated the accessibility, objectivity, relevance, faithfulness, robustness and sensibility of the indicators in order to achieve its objective. The analysis was based on case studies, consulting experts, comparison with the systems currently applied and with results from other academic studies and other methodologies to evaluate project alternatives. Critical analysis proved to be a powerful tool to validate indicators so that they could present clear results, evaluating the necessary aspects, without ambiguity in verifications.

Keywords: indicators, critical analysis, urban drainage.

Validation System of Indicators to Evaluate the Effects of Urbanization on Watercourses by Means of Critical Analysis

ABSTRACT

Indicators have increasingly been used for the evaluation of project alternatives in the water resources domain. Indicators are important to quantify different aspects, compare project alternatives and choose the best according to technical criteria or the interests of the analyst or the stakeholder. In order for them to accomplish their function, it is important to verify, validate and make the necessary adjustments. This paper presents the critical analysis system used to validate indicators proposed to evaluate the effects of urbanization on watercourses. The paper also presents the results which provided useful information