

CRITÉRIOS DE DESEMPENHO APLICADOS ÀS OBRAS HIDRÁULICAS FLUVIAIS E DE MACRODRENAGEM URBANA, EXECUTADAS NOS LEITOS DO RIBEIRÃO DOS MENINOS

Bruna Loro Ferraz ¹; Pedro José da Silva ²

¹ Aluna de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

² Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. *Uma bacia hidrográfica é formada por duas porções - biogeofísica e sócio-econômico-cultural - e o homem tenta mantê-las sobre seu domínio. A ocupação e o uso da porção física do meio são responsáveis por inúmeros impactos ambientais. Esses impactos, que ocorrem nos trechos urbanos dos rios, se elevam quando ocorre ocupação desordenada. Qualquer intervenção de engenharia, visando à execução de obras hidráulicas fluviais, exige um estudo preliminar da bacia. Este trabalho tem por objetivo identificar e classificar as obras hidráulicas fluviais e de macrodrenagem urbana executadas nos leitos do Ribeirão dos Meninos, em específico no trecho em frente ao Campus da Mauá, em São Caetano do Sul, até o ponto de encontro com Rio Tamanduateí. A metodologia fundamenta-se em estudo descritivo, de levantamento, pois consiste em observar e registrar eventos que ocorrem em um determinado espaço - identificado como Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Meninos, caracterizando, então, um Estudo de Caso - e buscar relações de temporalidade ou correlação entre os fenômenos observados. Destacam-se como resultados: o desenvolvimento de Critérios de Desempenho a partir do uso das Planilhas Ambientais, SILVA (2004), classificando aquelas obras em Producente e Contraproducente, e uma nova proposta de Classificação de Obras Hidráulicas Fluviais.*

Introdução

O crescimento urbano, na maior parte das metrópoles, se processou de forma acelerada e, somente em algumas, a drenagem urbana foi considerada fator preponderante na elaboração de projetos que consideraram esta expansão. Tem-se como efeito direto deste crescimento o aumento das áreas impermeabilizadas e, conseqüentemente as vazões afluentes aos receptores originais, aumentam devido à redução dos tempos de concentração. Este aumento faz-se verificar nas zonas de menor cota, próximas às várzeas dos rios, e nas cidades litorâneas acrescenta-se à região beira mar.

Nas últimas décadas as várzeas dos rios, considerado como o leito maior ou de cheia, passaram a ser incorporadas ao sistema viário, por meio das denominadas vias de fundo de vale. Tal ação fez com que inúmeros cursos de água viessem a receber uma intervenção de engenharia em menor ou maior grau e intensidade, direta ou indiretamente, o que resultou em obras hidráulicas fluviais, tais como a retificação e canalização a céu, em alguns casos os cursos de água foram encerrados em galerias, de modo a permitir a construção de vias marginais sobre as antigas alças dos meandros.

As obras hidráulicas fluviais, entendidas como solução para muitos problemas, de um modo geral, atualmente, apresentam caráter localizado. Os trechos dos cursos de água que receberam as obras de hidráulica fluvial, aqui e acolá, reduzem o prejuízo das áreas afetadas, mas, por causa da transferência de vazões verifica-se que as inundações são agravadas à jusante, uma vez que a drenagem urbana é na sua essência uma questão de “alocação de espaços”. Em síntese a utilização de uma parcela dos leitos dos rios agora é possível devido a execução das obras hidráulicas fluviais, porém consideradas contraproducentes, pois em muitos casos transferem a inundação de uma zona para outra, em geral a jusante.

As vias de fundo de vale, bem as áreas circundantes, com o passar do tempo, atraem intensa ocupação. A ampliação dos sistemas de drenagem existentes nesses locais torna-se impraticável, pois algumas das viabilidades/sustentabilidades técnica, econômica, financeira, política, jurídica, social e ambiental; ou mesmo domínios de estudo econômico, sociocultural, saúde, ecologia/ambiental, direito, relações internacionais, ou ainda dimensões social, ambiental e econômica não podem ser atendidas. Os motivos desse não atendimento passam pelos altos custos sociais envolvidos e pelos elevados investimentos necessários à implantação de obras hidráulicas fluviais de grande porte. Em alguns cenários, devido ao alto custo ou mesmo devido a impossibilidade de desapropriação de áreas ribeirinhas, bem como pela necessidade de interrupção de tráfego, a solução requer a utilização de métodos executivos sofisticados e, portanto, de alto custo.

Frente ao cenário apresentado a Engenharia Urbana viabiliza a aplicação de conceitos inovadores mais adequados aos sistemas de drenagem promovendo o retardamento dos escoamentos, de forma a propiciar o aumento dos tempos de concentração e a consequente redução nas vazões máximas, também como amortecer os picos e reduzir os volumes de enchentes por meio da retenção em reservatórios, e ainda, conter tanto quanto possível o runoff no local da precipitação, pela melhoria das condições de infiltração, ou ainda em tanques de contenção.

Delineamento do local de estudo

O Ribeirão dos Meninos situa-se a leste – sudoeste do município de São Paulo – e está inserido na região do ABC Paulista, nos municípios de São Bernardo do Campo, Santo André e São Caetano. É afluente da margem esquerda do rio Tamanduateí, possuindo uma área de drenagem total de 112 km², em sua maior parte urbanizada. Antes de desembocar no Tamanduateí, recebe as águas do Ribeirão dos Couros, cuja área de drenagem é de cerca de 48 km². A área de drenagem da bacia superior do Ribeirão dos Meninos, abrangendo desde suas nascentes até o ponto de confluência com o Ribeirão dos Couros, é de cerca de 51 km² (São Paulo, 1999). Esta última área corresponde àquela inserida no Município de São Bernardo.

Obras realizadas no trecho de estudo

Retificação dos meandros

A retificação de rios meandrantés consiste em melhorar os raios de curvatura do leito curvo do rio, melhorando as condições do escoamento, reduzindo o percurso para aumentar a velocidade d'água, baixando o nível d'água de enchentes, alterando o equilíbrio do rio, sendo, portanto, necessário a execução de obras complementares para minimizar os impactos ambientais.

Diques

Diques são obras de engenharia hidráulica com a finalidade de manter determinadas porções de terra secas através do represamento de águas correntes por meio de “paredes” de concreto, de terra ou de enrocamento.

Piscinão

Os piscinões armazenam água tanto ao ar livre como em pátios cobertos no subsolo de áreas urbanas. Nestes dois casos, a água pode escoar por gravidade ou por bombeamento. Ajuda na prevenção de inundações, diminuindo a vazão efetiva escoada no rio e/ou regularizando o escoamento.

Polders

São sistemas compostos por diques de proteção, redes de drenagem e sistemas de bombeamento, visam a proteger áreas ribeirinhas ou litorâneas, fundo de vale laterais a rios e

canais que encontram em cotas inferiores às dos níveis d'água, que ocorrem durante os períodos de chuva ou marés.

As áreas a serem protegidas ficam, portanto, totalmente isoladas por diques, cuja cota de coroamento é estabelecida em função dos riscos de galgamento assumidos. Protegidas as áreas do avanço das áreas externas, a drenagem interna é direcionada para o sistema de bombeamento que recalca as vazões drenadas por sobre os diques, de volta ao corpo d'água.

Material e Métodos

A representação de um objeto, pelo pensamento, que por meio de suas características gerais está pronto para funcionar, passa a ser considerado variável quando se adiciona a ele quantidades, qualidades, características, magnitudes, etc., que se alteram em cada caso.

Neste trabalho entenderemos variável como um conceito operacional que contém ou apresenta valores, aspecto e propriedades, discerníveis em um objeto de estudo e, passível de mensuração.

Variável Independente

O curso de água identificado como Ribeirão dos Meninos quando em estado natural, durante o período de chuvas apresentava uma intervenção direta na sua bacia hidrográfica, expressa pela definição de três leitos, a saber: leito menor, leito normal e leito de cheias, que em função do crescimento/desenvolvimento do município de São do Caetano Sul passou a apresentar impactos ao meio ambiente urbano, considerados adversos.

O crescimento/desenvolvimento do município de São Caetano do Sul não somente o aumento a ocupação do leito maior ou de cheias do Ribeirão dos Meninos, mas também, um grande número de alterações em algumas das partes da porção biogeofísica do meio ambiente que compõem a bacia hidrográfica do referido curso de água.

A presença, agora, de outros impactos ao meio ambiente deve-se, principalmente, a execução das obras hidráulicas fluviais na calha do Ribeirão dos Meninos. Em alguns trechos do referido curso de água identifica-se a execução de dois ou mais tipos de obras hidráulicas, o que traduz um grau maior de intervenção de engenharia, visando atender a determinados objetivos.

A utilização crescente do leito do Ribeirão dos Meninos, pelo município, exige proporcionalmente um grau maior de intervenção de engenharia na bacia hidrográfica identificada nessa pesquisa como a causa do problema da pesquisa ou Variável Independente.

Variável Dependente

O estudo das alterações, que em uma unidade inclui todos os organismos de uma determinada área, interagindo com o meio físico, de forma a originar um fluxo de matéria e energia, pode ocorrer, principalmente, por ação antrópica (neste projeto entenderemos a ação antrópica como sendo as obras hidráulicas fluviais), é definida como impacto ambiental.

Os impactos ambientais sobre o meio físico, meio biológico, ecossistemas naturais, o meio socioeconômico, constituem-se no efeito dentro do problema de pesquisa, identificado neste projeto como Variável Dependente.

Detalhamento e Classificação dos Impactos Ambientais

As obras hidroviárias, executadas pelo homem, provocam alterações que podem ser significativas ou desprezíveis, nas características dos meios físico, biótico e antrópico, sendo, portanto, necessário identificar e classificar estas alterações que também são denominadas impactos ambientais. Os impactos ambientais para efeito de análise poderão ser classificados quanto: Ao Tipo; Ao Modo; A Magnitude; Ao Alcance; Ao Efeito; A Reversibilidade.

Impactos Ambientais – Quanto Ao Tipo

- Positivo (Benéfico) - P
- Negativo (Adverso) - N

Impactos Ambientais – Quanto Ao Modo

- Direto - D
- Indireto - I

Impactos Ambientais – Quanto A Magnitude

- Baixa intensidade - B
- Média Intensidade - M
- Grande Intensidade - G

Impactos Ambientais – Quanto Ao Alcance

- Local - L
- Regional - R
- Nacional - NA

Impactos Ambientais – Quanto Ao Efeito

- Curto Prazo - CP
- Médio Prazo - MP
- Longo Prazo - LP

Impactos Ambientais – Quanto A Reversibilidade

- Reversível - RE
- Irreversível – IR

Proposta de Valoração dos Impactos Ambientais

A etapa que corresponde à valoração dos impactos ambientais, não pode continuar sendo entendida, por alguns pesquisadores como sendo algo subjetivo. A justificativa deste subjetivismo reside na dependência de quem faz a valoração, isto é, do seu grau conhecimento do assunto, dos seus interesses etc. Atualmente existe o envolvimento de: Administradores das Hidrovias; Instituto de Pesquisa Tecnológicas e Hidráulicas; Cooperativas Hidroviárias; Organizações não Governamentais e outros que no desenvolvimento e documentação das suas atividades, passam a fornecer informações reais, que tratadas matematicamente se constituem em dados/informações que podem vir a alimentar modelos que permitem a valoração dos impactos ambientais.

A análise quantitativa (valoração), apresentada nas planilhas ambientais, é desenvolvida a partir de uma escala de 0 a 10, atribuída à magnitude, obtidos de fontes, tais como: Braga *et al.* (2002); Mota (1997); Tommasi (1993), enquanto que a valoração para os demais tipos de impactos, é uma proposta deste artigo. Ver Tabela 1.

Tabela 1 - Proposta de valores para os impactos ambientais classificados

IMPACTOS AMBIENTAIS CLASSIFICADOS		VALORES
Quanto ao tipo	Positivo (Benéfico)	+
	Negativo (Adverso)	-
Quanto ao Modo	Direto	1 a 10
	Indireto	1 a 10
Quanto a Magnitude	Baixa Intensidade	1 a 4
	Média Intensidade	4 a 7
	Grande Intensidade	7 a 10
Quanto ao Alcance	Local	1 a 4
	Regional	4 a 7
	Nacional	7 a 10
Quanto ao Efeito	Curto Prazo	1 a 4
	Médio Prazo	4 a 7
	Longo Prazo	7 a 10
Quanto a Reversibilidade	Reversível	1 a 10
	Irreversível	1 a 10

Os valores da escala serão positivos quando o impacto ambiental for benéfico e negativos quando for adverso.

Proposta de Expressões Matemáticas

Calcula-se a média geral de cada ação proposta, referente aos impactos ambientais antropogênicos da seguinte maneira:

Uma ação proposta apresenta diversos impactos ambientais e, cada um desses impactos, recebe uma avaliação qualitativa (classificação do impacto ambiental) e uma avaliação quantitativa (valoração).

Toma-se, por exemplo, os diferentes impactos ambientais classificados de uma ação proposta e, procede-se a soma dos valores ($V_{i\ IA}$) de cada um dos impactos ambientais classificados, afetados de sinal (+) ou (-), obtendo-se, assim, para cada um deles uma somatória:

$$\sum_{i=1}^n V_{i\ IA}$$

A determinação do valor de um impacto ambiental no meio ambiente ($E_{i\ IA}$) é igual ao quociente da somatória dos valores de um impacto ambiental classificado pelo seu, respectivo, número de impactos ambientais classificados (n_{IA}).

A média geral de cada ação proposta ($I_{n\ IA}$), referente aos impactos ambientais antropogênicos, é igual ao quociente da somatória dos valores de um impacto ambiental da ação proposta:

$$\sum_{i=1}^n E_{i \text{ IA}}$$

pelo número de impactos ambientais provocados pela ação proposta ($N_{i \text{ IA}}$).

Este artigo propõe as seguintes equações matemáticas:

$$E_{i \text{ IA}} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{i \text{ IA}}}{n_{\text{IA}}}$$

Onde:

$E_{i \text{ IA}}$ = Valor de um impacto ambiental no meio ambiente;

$V_{i \text{ IA}}$ = Valor de um impacto ambiental da ação proposta;

n_{IA} = Número de impactos ambientais classificados.

$$I_{i \text{ IA}} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{i \text{ IA}}}{N_{\text{IA}}}$$

Onde:

$I_{i \text{ IA}}$ = Valor geral do impacto ambiental de uma ação proposta;

$E_{i \text{ IA}}$ = Valor de um impacto ambiental da ação proposta;

$N_{i \text{ IA}}$ = Número de impactos ambientais provocados pela ação proposta.

Resultados e Discussão

Abaixo, segue a planilha ambiental do estudo de caso do Ribeirão dos Meninos.

INTERV	IMPACTOS AMBIENTAIS	VALORAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL						Σ (V _{IA})	Σ (N _{IA})	E _{IA}	Σ (E _{IA})	N _{IA}	$\frac{\Sigma (E_{IA})}{N_{IA}}$	INTERPR.
		TP	MD	MAG	ALC	EF	REVERS		34	Σ (V _{IA})				
									n _{IA}	n _{IA}				
Retificação	Aumento da velocidade de escoamento da água	P	D	10	6	10	10	36	4	9,00	-43,00	13	-3,31	Há necessidade de ação proposta complementar
	Aumento da vazão sólida	N	I	9	6	10	10	-35	4	-8,75				
	Assoreamento no curso d'água à jusante	N	I	8	5	10	10	-33	4	-8,25				
	Erosão das margens e do fundo do leito	N	I	9	5	10	10	-34	4	-8,50				
	Perda ou alteração da flora e da fauna das margens	N	D	10	4	10	10	-34	4	-8,50				
	Perda das faixas de proteção	N	D	10	4	10	10	-34	4	-8,50				
	Aterro e ocupação das alças dos trechos retificados	N	I	10	4	10	10	-34	4	-8,50				
	Minimização das áreas de inundação	P	I	8	6	5	7	36	4	6,50				
	Aumento da vazão	P	I	10	6	10	10	36	4	9,00				
	Nos trechos retificados, canal é autolimpante (aumento de velocidade)	P	I	10	5	10	10	35	4	8,75				

	Inundações à jusante da retificação	N	I	8	4	10	10	-32	4	-8,00				
	Alteração no regime de escoamento	N	I	10	6	10	10	-36	4	-9,00				
	Possibilidade de implantação de vias asfaltadas no seu entorno (ocupação do leito maior do rio)	N	D	10	3	10	10	-33	4	-8,25				
Diques	Alteração na forma da seção do curso d'água	N	D	10	4	10	10	-34	4	-8,50	-27,75	5	-5,55	Há necessidade de ação proposta complementar
	Proteção de inundações nas margens	P	D	9	3	7	7	26	4	6,50				
	Alteração do regime de escoamento	N	I	10	6	10	10	-36	4	-9,00				
	Perda ou alteração da flora e da fauna das margens	N	I	10	4	10	10	-34	4	-8,50				
	Favorece a ocupação do leito maior do rio	N	D	10	3	10	10	-33	4	-8,25				
Piscinão	Diminuição das inundações à jusante	P	I	8	4	8	7	27	4	6,75	-35,25	8	-4,41	Há necessidade de ação proposta complementar
	Regularização da vazão à jusante	P	D	10	4	10	10	34	4	8,50				
	Elevação do nível d'água à montante (remanso)	N	I	8	4	10	10	-32	4	-8,00				
	Alteração das condições sanitárias na área de influência do piscinão	N	I	10	4	10	10	-34	4	-8,50				

	Assoreamento e armazenamento de resíduos sólidos	N	D	10	3	10	10	-33	4	-8.25				
	Ocupação do leito maior do rio	N	D	10	3	10	10	-33	4	-8,25				
	Perda/alteração da fauna e flora	N	I	10	4	10	10	-34	4	-8,50				
	Alteração no regime de escoamento	N	I	10	6	10	10	-36	4	-9,00				
Polders	Proteção contra inundações	P	D	8	4	9	9	30	4	7,50	-45,75	8	-5,72	Há necessidade de ação proposta complementar
	Aumento da vazão de pico	N	D	8	4	7	9	-28	4	-7,00				
	Ocupação do leito maior do rio	N	D	10	3	10	10	-33	4	-8,25				
	Erosão de margens e fundo ocasionada pela energia de descarte da água	N	D	10	4	7	9	-30	4	-7,50				
	Assoreamento do leito à jusante do polder	N	I	10	4	7	9	-30	4	-7,50				
	Alteração no regime de escoamento à jusante	N	I	10	4	7	9	-30	4	-7,50				
	Perda ou alteração da flora e da fauna das margens	N	I	10	4	10	10	-34	4	-8,50				
	Elevação do nível d'água à montante (remanso)	N	I	8	4	7	9	-28	4	-7,00				

Conclusões

A submissão do Ribeirão dos Meninos ao modelo matemático identificado como Planilhas Ambientais, proposto por Silva (2004), tem como principal resultado o desenvolvimento de uma estrutura composta por um sistema e um modelo. O sistema é formado por: uma entrada que corresponde à fase de coleta de dados e/ou informações referentes à bacia hidrográfica do Ribeirão dos Meninos, bem como ao conjunto de intervenções de engenharia implantadas e executadas nesta bacia; processamento dos dados e/ou informações coletadas, de modo a se verificar quais são relevantes a este projeto, e a saída que corresponde a uma provável resposta ao problema proposto. O cenário corresponde à representação física do sistema, isto é, a Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Meninos, com todos os dados e informações coletadas e, posteriormente, processadas, passam a alimentar as Planilhas Ambientais (Silva, 2004), construindo-se, então, no Modelo de Planilhas Ambientais do Ribeirão dos Meninos.

A interpretação de um valor geral do impacto ambiental de uma ação proposta, com sinal negativo, indica que a obra hidráulica fluvial e/ou de macrodrenagem urbana contribui para o agravamento e/ou dá origem a um impacto adverso e, neste caso, ela será considerada contraproducente. A interpretação de um valor geral do impacto ambiental de uma ação proposta, com sinal positivo, indica que a obra hidráulica fluvial e/ou de macrodrenagem urbana é produtora, contribuindo com minimização dos impactos dos impactos adversos e, conseqüentemente, aumento dos impactos benéficos.

Referências Bibliográficas

- Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Meninos. Fonte: Disponível em: <https://www.google.com.br/search?q=bacia+do+ribeir%C3%A3o+dos+meninos>. Acesso em 02/03/2016.
- Braga, B., Introdução à engenharia ambiental. 1ª ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 305 p.
- Brighetti, G.; Almeida, C. Apostila: Navegação Interior e Portos Marítimos. São Paulo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002. Fascículo I. 143 p.
- Brighetti, G. Notas de Aula: Curso de Pós-graduação na área de Concentração Engenharia Hidráulica. *Obras Fluviais*. São Paulo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.
- Camargo Júnior, A. Sistema de gestão ambiental em terminais hidroviários e comboios fluviais: contribuições para o desenvolvimento sustentável na hidrovia Tietê – Paraná. 2000. 179 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, da Universidade Estadual Paulista. São Paulo.
- Canholi, A. P. *Drenagem urbana e controle de enchentes*. São Paulo. Oficina de Textos, 2005. 302 p. Limites das Bacias Hidrográficas do Ribeirão dos Meninos e do Rio Tamanduateí.
- Pereira, P. A. S. *Rios, redes e regiões: a sustentabilidade a partir do enfoque integrado dos recursos terrestres*. 1ª ed. Porto Alegre. Editora AGE Ltda, 2000. 348 p.
- São Paulo. DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Governo do Estado de São Paulo. *Plano Diretor de Macro Drenagem da Bacia do Alto Tietê: Bacia Superior do Ribeirão dos Meninos*. Disponível em: http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/basecon/macrodrenagem/meninos/Arquivos_Men/Indexe_Men.html. Acesso em: 27 de Junho de 2016.
- Silva, P. J. Estrutura para identificação e avaliação de impactos ambientais e obras hidroviárias. 2004. 511 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.
- Tommasi, L. R. *Estudo de Impacto Ambiental*. 1ª ed. São Paulo. CETESB. Terragraph Artes e Informática, 1993. 355 p.