

RENATURALIZAÇÃO DE RIOS, EM ÁREAS DE TRECHOS, URBANOS COM A APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE BIOENGENHARIA EM OBRAS DE ENGENHARIA HIDRÁULICA.

Pedro José da Silva¹ & Maria Aparecida Faustino Pires²

RESUMO --- O meio ambiente de uma bacia hidrográfica é formado por duas porções, uma biogeofísica e a outra sócio-econômico-cultural, embora o homem seja parte destas porções, normalmente, coloca-se como se não o fosse, e continuamente tenta mantê-las sobre seu domínio. A ocupação e uso da porção física do meio ambiente identificada como solo e localizada nas áreas de recursos hídricos, e mais especificamente em trechos marginais de rios em áreas urbanas são responsáveis por inúmeros impactos ambientais adversos ao meio ambiente. Os impactos que ocorrem nos trechos urbanos dos rios, se elevam consideravelmente quando ocorre a ocupação desordenada da bacia hidrográfica, alcançado a faixa de proteção, e qualquer intervenção de engenharia, visando a execução de obras hidráulicas em um rio, exige um estudo preliminar da bacia hidrográfica. A adoção de obras de mitigação, visando a minimizar os efeitos dos impactos oriundos da ocupação desordenada do solo, nem sempre apresenta a resposta desejada. Frente ao exposto, estudos são realizados de modo a permitir o conhecimento da biota natural, a instrumentação da engenharia hidráulica com técnicas de bioengenharia para a renaturalização dos rios urbanos.

ABSTRACT --- The environment of a hydrographic basin is formed by two portions, a biogeophysical and to another partner-economic-cultural one, even so the man is part of these portions, normally, he is placed as if it he was not, and continuously he tries to keep them on its domain. The occupation and use of the physical portion of the environment identified as alone and located in the areas of hydric resources, and more specifically in stretches delinquents of rivers in urban areas are responsible for innumerable adverse ambient impacts to the environment. The impacts that occur in, urban stretches, of the rivers if raise considerably when the disordered occupation of the hydrographic basin occurs, reached the band of protection, and any intervention of engineering, aiming at the execution of water works in a river, demands a preliminary study of the hydrographic basin. The adoption of mitigation works, aiming at to minimize the effect of the deriving impacts of the disordered occupation of the ground, nor always presents the desired reply. Front to the displayed one, studies are carried through in order to allow the knowledge of biota natural, of instrumentation hydraulical engineering with techniques of bioengineering for the recovery of the urban rivers.

PALAVRAS-CHAVE: Renaturalização de rios, bioengenharia, obras hidráulicas.

1) Professor das Faculdades de Engenharia Civil e Arquitetura da Fundação Armando Álvares Penteado/**FAAP**; Pós Doutorando – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/**IPEN**. Rua Conde de Assumar, 191, 02255-020. São Paulo. E-mail pjsilva@faap.br

2) Gerente do Centro de Química e Meio Ambiente – **CQMA/IPEN**. Av. Prof. Lineu Prestes, 2242, 05508-000. USP – São Paulo. E-mail mapires@ipen.br

1 - INTRODUÇÃO

O uso de plantas para a restauração de margens de rios com trechos urbanos, não deve ser visto, simplesmente, como uma questão de paisagismo, pois a se tratar a questão com este enfoque, comete-se um erro de grandes extensões. O conceito de renaturalização dos cursos de água, especificamente os rios, empregado neste artigo é emprestado daquele utilizado nas linhas básicas da renaturalização de rios da Europa. A renaturalização tem como objetivos: *recuperar rios e córregos de modo a regenerar o mais próximo possível a biota natural, através do manejo regular ou de programas de renaturalização; preservar as áreas naturais de inundação e impedir quaisquer usos que inviabilizem tal função.*

Os objetivos da renaturalização são alcançados à medida que o plano de renaturalização considera, simultaneamente, os conhecimentos de engenharia hidráulica e técnicas de bioengenharia, em seu desenvolvimento.

A renaturalização de um rio, não significa a volta a uma paisagem original não influenciada pelo homem, mas corresponde ao desenvolvimento sustentável dos rios e da paisagem em conformidade com as necessidades e conhecimentos contemporâneos.

A abordagem do tema renaturalização aplicado ao Brasil, exige alguns cuidados, pois, alguns países da Europa, apresentam dimensões físicas que correspondem a um estado brasileiro, sendo assim a porção física do meio ambiente que corresponde às águas, mais especificamente o local das águas, “rios”, encontra-se extremamente alterado, pois qualquer obra hidráulica, como por exemplo, a retificação de meandros, produz grande impactação nesse curso de água, além das suas águas poderem apresentar em diferentes trechos do rio, diferentes tipos de poluição, a saber: poluição biológica, poluição química, poluição radioativa, etc. não existindo portanto uma biota.

2 - OBJETIVO

O presente trabalho tem por objetivo geral estudar a utilização das técnicas de bioengenharia em obras hidráulicas destinadas a renaturalização de cursos de água, em especial nos trechos urbanos de rios.

3 - METODOLOGIA

O trabalho apresentado é um estudo descritivo/correlacional, pois consiste da observação e registro dos eventos que ocorrem nos rios urbanos e na sua referida bacia hidrográfica. Investiga-se a relação entre os eventos, analisando-se se estes eventos variam no tempo e espaço, simultaneamente, concluindo então a existência de uma correlação entre eles.

4. PLANEJAMENTO, DIAGNÓSTICO E OBJETIVOS DA RENATURALIZAÇÃO DOS RIOS

Para avaliar-se a situação de um rio, é necessária a avaliação do seu entorno, isto é, sua bacia hidrográfica, bem como definir os objetivos específicos da recuperação. É preciso comparar a realidade atual com a situação ideal, considerando as condições ecológicas da zona ribeirinha. A partir daí é possível propor-se uma situação ideal, lembrando-se que ela deverá estar apoiada no conhecimento da situação natural.

5. ADOÇÃO DE CONCEITOS DE RENATURALIZAÇÃO NA ÁREA RURAL

Em zonas não urbanas, há novos métodos para manejo das águas e para a manutenção dos cursos de água. A interrupção do uso agrícola na parte superior da margem do rio também chamada de “berma”, que só é atingida pelas enchentes excepcionais, permitiria a recuperação da vegetação ciliar. Essa vegetação também ocuparia parte da ribanceira ou “talude”, que se constitui na parte da margem compreendida entre o nível de estiagem mínima e o das enchentes normais.

Quando se fala em substituição de obras hidráulicas tradicionais por métodos de engenharia ambiental, comete-se um “grande erro”, pois a substituição do material empregado para a execução de uma determinada obra hidráulica fluvial, não se constitui em substituição de obra, mas sim de material, compreendendo diferenças na sua execução.

A substituição de materiais para a execução de obras fluviais, permite a recuperação de múltiplas estruturas morfológicas naturais, proporcionando o aumento de biótopos.

A implementação do processo de renaturalização de rios, além de exigir um grande cabedal de conhecimentos a respeito de sua dinâmica morfológica bem como habilidade na aplicação desses conhecimentos também requer a compreensão e a aceitação de população ribeirinha. A demanda por áreas adicionais é avaliada em relação às características do rio, isto é, dinâmica do leito, vazões de enchentes, perfil longitudinal, material transportado, vegetação, etc. É importante lembrar que o rio deixa de ser retilíneo e volta a ser meandrante.

Dependendo do tipo de rio, a transformação anual do seu curso pode limitar-se a poucos centímetros, mas também pode chegar a vários metros. A avaliação de demanda de áreas adicionais orienta-se pelo prazo de 20 a 25 anos. Mapas históricos, levantamentos aerofotogramétricos e observações das condições naturais, trazem informações importantes.

A recuperação da condição natural de rios anteriormente retificados tem como pré-requisito a existência de áreas disponíveis de modo a garantir a exclusão de riscos e prejuízos para terceiros, permitindo assim melhorar as condições do ecossistema.

Para assegurar a recuperação das áreas lindeiras em longo prazo, é necessário indicá-las em todos os planos estaduais e municipais de uso e ocupação do solo, atendendo a lei.

6 - ANÁLISE DE OBRAS FLUVIAS PARA RENATURALIZAÇÃO DOS RIOS

As primeiras obras hidráulicas provavelmente, foram executadas antes que o homem fosse homem, Homo Sapiens. Tal quais os castores e outros seres construtores, o homem primitivo já se envolvia com obras hidráulicas. Mas eram oriundas de uma inteligência instintiva, do que fruto de reflexão. Muitos conceitos errôneos e a falta de transmissão do conhecimento, dentre outros, foram fatores que limitaram a evolução científica da hidráulica durante todo período, desde a antigüidade até o renascimento. É claro que vários outros fatores histórico-tecnológicos reforçaram esta limitação (Pereira, 1994).

A materialização da inteligência reflexiva, entretanto, só começou a tomar forma com as civilizações advindas do encontro de água com o deserto. Ou seja, os Sumérios, e as demais culturas Mesopotâmicas, e em especial o Egito, a dádiva do Nilo. Até etimologicamente Mesopotâmia tem relação com a água (Pereira, 1994).

Diversas outras civilizações antigas deixaram vestígios, e mesmo obras intactas, no campo da hidráulica, desde a China até a América (Astecas, Incas, Maias e outros). Mas foram os grandes pensadores gregos que muito contribuíram para o desenvolvimento da ciência hidráulica, mas poucos realizaram em termos de grandes obras, devidos entre outros fatores, ao desprezo pelo trabalho braçal. Coube aos romanos, povo de comportamento mais prático, a realização das grandes e inúmeras obras hidráulicas que até hoje marcam a paisagem do antigo império (Pereira, 1994).

Antes de se dar início a análise de casos voltados a renaturalização, é necessário que se tenha conhecimento dos seguintes parâmetros, sem os quais o empreendimento estará fadado ao fracasso:

1. Em casos de limitações de áreas disponíveis, devem-se buscar soluções não passíveis de serem “adaptadas”, mas soluções “adequadas” às necessidades de evolução natural, como por exemplo, a fixação de margem de modo a não permitir evolução em área limitada, enquanto a outra margem evolui em área não limitada.
2. A substituição de obras longitudinais por obras transversais para conter uma erosão é procedimento errado, pois as condições que definem um outro tipo de obra são diferentes.

7 - CLASSIFICAÇÃO DE VAN RAALTEN - TIPOS DE OBRAS FLUVIAIS

Poucos são os cursos de água que em condições naturais apresentam características que permitem o uso múltiplo de suas águas, atendendo as diferentes condições de sustentabilidade, necessitando, portanto da implantação, execução e operação de obras fluviais.

Entende-se neste artigo, por obras fluviais a intervenção de engenharia, direta ou indiretamente no curso de água, de modo a resultar em obras de engenharia civil que viabilizam o uso destes cursos de água atendendo as sustentabilidades técnica, econômica, financeira, jurídica, política, social e ambiental.

Escolher entre os diferentes tipos de obras fluviais, não é das missões mais fáceis para o engenheiro, pois além da necessidade do conhecimento teórico a respeito deste tipo de obra, deve também apresentar habilidade, o que lhe permite identificar situações onde é possível aplicar seus conhecimentos teóricos.

A bibliografia referente às obras fluviais, é estritamente restrita, tanto em nível nacional quanto internacional, visando a facilitar o entendimento deste artigo apresentam-se as classificações de Van Raalten (1981) apud Camargo Junior (2000) e Silva (2004).

Genericamente, existem quatro tipos de obras fluviais, de acordo com Van Raalten (1981) apud Camargo Junior (2000), sendo elas:

1. Obras Simples – demolição e retirada de obstáculos (desenrocamento) e sedimentos (desassoreamento) para viabilizar a navegação.
2. Obras de fixação do leito e proteção de estruturas – aplicação de métodos construtivos tradicionais, como concretagem, enrocamento, atirantamento, aplicação de gabiões, espigões, muros-guia, etc., que fixam as margens e a calha do rio, que protegem pilares, vãos de pontes, entrada de eclusas, etc., promovendo a segurança da navegação.
3. Obras de regularização de vazão – construção de obras como barragens. No caso da construção de barragens, são necessárias obras de transposição para as embarcações.
4. Obras de canalização – trata-se de obras de regularização do leito total de um rio, de interligação de rios ou de criação de ramais paralelos ao leito natural. O primeiro caso é muito comum em hidrovias européias. O canal de Bariri e o canal de Pereira Barreto, são exemplos de ramal paralelo e interligação (Oliveira & Brito, 1998).

8 - CLASSIFICAÇÃO PROPOSTA - TIPOS DE OBRAS FLUVIAIS

Segundo Silva (2004), existe a necessidade de se adequar à classificação de Van Raalten, a realidade brasileira, portanto, adotaremos neste artigo a seguinte proposta de classificação:

1. Gerais ou de Normalização - São obras locais visando problemas específicos, do tipo: trecho raso ou curva muito brusca ou margem instável; de modo geral visam o melhoramento dos cursos de água e não influem no regime hidráulico ou morfológico do rio. Dificilmente são usadas sozinhas, sendo comum a sua utilização em conjunto com os outros tipos de obras. As principais obras de normalização são:

1.1. Desobstrução e Limpeza - Consiste na retirada de obstáculos estranhos ao leito, que dificultam o escoamento ou desviam os filetes líquidos. Geralmente são vegetais ou embarcações sossobradas.

Utilizam-se embarcações destocadeiras e guindastes. Este tipo de obra não intervém no equilíbrio do rio, portanto, não produz impactos ambientais.

1.2.Limitação dos Leitos de Inundação - Tem a finalidade de facilitar a navegação, concentrando o escoamento num leito bem definido. Outra finalidade pode ser a de proteger os terrenos ribeirinhos. As obras utilizadas neste caso são diques longitudinais. Podem ser construídos a seco, aproveitando o período de estiagem, localizados no leito menor e de maneira geral em argila (impermeável). Verificar-se que este tipo de obra, intervém no equilíbrio do rio, dando origem a impactos ambientais, que serão minimizados com a execução de obras complementares para a proteção do leito.

1.3.Fechamento de Braços Secundários - Este tipo de obra é utilizado para aumentar a profundidade num dos trechos dos braços do curso de água, mediante o fechamento dos outros. O fechamento é efetuado através de obras permeáveis ou não, geralmente com altura até a cota mínima de navegação, ficando submersos para as vazões maiores. Estas obras são pequenas barragens, que podem ser galgadas, devendo, portanto ter a superfície protegida para evitar a sua destruição, ou soleiras de fundo. Podem ser construídas em enrocamento de pedras ou terra, com proteção na superfície ou ainda em estaqueamento simples ou duplo.

1.4. Proteção das Margens - De um modo geral denominaremos por margem a superfície inclinada do terreno em contato direto com a água ou imediatamente acima, distinguindo-se: a parte superior ou “berma”, que só é atingida pelas enchentes excepcionais e que muitas vezes é constituída pelos diques de proteção contra inundações, a “ribanceira” ou “talude”, entre o nível de estiagem mínima e o das enchentes normais e o “pé da margem” ou “base”, a parte inferior. Abaixo do nível de estiagem, permanentemente submersa (Brighetti & Almeida, 2002).

A ribanceira e o pé da margem são muitas vezes sujeitos às elevadas velocidades, sendo então submetidos a fortes erosões, sobretudo nas zonas inferiores que sustentam o talude, merecendo, pois, maiores atenções e proteção (Brighetti & Almeida, 2002).

A proteção das margens tem por finalidade:

1. Proteger os terrenos marginais (ribeirinhos), isto é, terrenos que ladeiam um curso de água ou que circundam um lago, beira, orla, da ação do escoamento e das ondas naturais ou artificiais;
2. Reduzir a descarga sólida nos (as) cursos de águas naturais, hidrovias, canais [de irrigação, de drenagem, de adução (usinas)], etc. (Brighetti, 2000).

A proteção das margens tem como conseqüentes vantagens: redução dos bancos de areia; melhoria geral do escoamento; redução da erosão; aprofundamento do leito; fixação do leito navegável, etc.

Em cada situação é necessário procurar o revestimento (obra) que possui as exigências características de: permeabilidade ou impermeabilidade, robustez, flexibilidade, rugosidade, durabilidade e economia, e entre eles adotar o que melhor se adapte às necessidades da obra.

A proteção das margens poderá ser obtida através da *proteção direta ou proteção indireta* utilizando-se técnicas de bioengenharia.

9 - TÉCNICAS DE BIOENGENHARIA

As técnicas baseadas no uso de plantas para restauração de taludes e vertentes são chamadas técnicas de bioengenharia. São técnicas antigas, originadas nas civilizações sumária e romana. Registros mostram o uso deste tipo de medida na China desde o século XIX, onde gravetos eram usados para estabilizar margens. No início do século XX, a China passou a usar técnicas similares para controle de erosão e inundações ao longo do Rio Amarelo. Os países europeus, especialmente Alemanha, utilizam soluções de bioengenharia no solo a mais de cento e cinquenta anos. Nos Estados Unidos, tais medidas tiveram maior difusão a partir dos anos trinta.

Entretanto, no pós-segunda guerra, com o crescimento de maquinário pesado para uso na terra e o desenvolvimento de novas técnicas estruturais de estabilização de margens e controle de erosão, as práticas de bioengenharia praticamente desapareceram importância na área de recursos hídricos, têm promovido o uso das medidas de bioengenharia como intervenções eficientes e menos impactantes nos cursos de água.

10 - MEDIDAS PARA RESTAURAÇÃO DAS MARGENS DOS RIOS

Escolher entre os diversos tipos de obras para a estabilização das margens, é uma missão difícil para o engenheiro, pois estamos protegendo a margem “contra o que?”.

Muitos projetos de recuperação de canais tinham como objetivo implícito seu desenvolvimento para navegação. Removiam-se obstáculos e entulhos naturais, como galhos e sedimentos, para que possibilitassem a passagem de embarcações. Posteriormente, segundo estratégias conservacionistas, a restauração do habitat aquático passou a ocupar papel central nas medidas de recuperação dos rios e difundiu-se o conceito de *instream* estruturas, estruturas colocadas dentro do leito do rio, como pedaços de madeira e bancos dissipadores de energia.

Embora tais medidas tenham sido fundamentais para o desenvolvimento de práticas de renaturalização fluvial, elas foram adotadas sem o entendimento integrado da dinâmica do curso d'água (Rirley, 1998:354).

Mais tarde, novos conceitos foram incorporados nas abordagens de recuperação dos rios, considerando que estes deveriam estar o mais próximo possível de seu estado natural, ou seja, deveriam ser “renaturalizados”.

Com isto, os processos hidrológicos naturais, como infiltração, escoamento, evapotranspiração e armazenamento, seriam afetados em menor grau, com minimização de impacto no balanço hídrico natural global da bacia. Em consequência, ocorreria a diminuição de distúrbios ambientais, como os relacionados a inundações, escassez hídrica e desequilíbrios no transporte de sedimentos.

11 - RENATURALIZAÇÃO DOS RIOS - OBRAS FLUVIAIS & BIONGENHARIA

As intervenções humanas na bacia hidrográfica, nas áreas urbanas, apresentam como consequência imediata, por exemplo, alterações nos parâmetros que caracterizam o regime de escoamento de um curso de água, resultando, então num aumento da velocidade da água, e havendo a necessidade de obras hidráulicas de proteção de margens, no trecho urbano do rio. Estas obras de proteção podem ser classificadas em obras de proteção contínua e proteção descontínua.

No caso de obras de proteção contínua, de margens que já se encontram erodidas, isto é, já impactada, a proteção contínua visa restabelecer o equilíbrio. No caso de proteção indireta, com a utilização de espigões, reduz-se a seção hídrica, afetando o equilíbrio do rio. Em ambos os casos, os impactos ambientais decorrentes da execução das obras encontram-se localizados naquele trecho de margem e será função do tipo de revestimento. Em cada situação é necessário procurar o revestimento (obra) que possui as exigências características de: permeabilidade ou impermeabilidade, robustez, flexibilidade, rugosidade, durabilidade e economia, e entre eles adotar o que melhor se adapte às necessidades da obra. Apresenta-se a seguir alguns exemplos de obras fluviais de proteção de margem, onde se faz o emprego de técnicas de bioengenharia, visando à minimização de impactos ambientais.

11.1 - Utilização de cobertura vegetal

O sistema radicular dos taludes que tem origem na cobertura vegetal faz com que os vazios entre os blocos de rocha que compõem os solos superficiais, sejam literalmente preenchidos por raízes que os envolve e mergulham para níveis inferiores. Evidencia-se, assim, uma verdadeira malha de tecido lenhoso que amarra os blocos e estrutura os solos coluviais, porém é necessária uma manutenção periódica de modo a evitar o desaparecimento da cobertura vegetal.

Na cobertura vegetal, a altura da vegetação deve ser limitada, pois o conjunto de copas e demais partes aéreas da vegetação apresenta os seguintes efeitos desfavoráveis à estabilidade das margens: efeito alavanca, efeito cunha e sobrecarga vegetal.

O “Princípio do Nível Mínimo de Energia” permite definir o melhor tipo de cobertura vegetal a ser aplicado, na margem de um rio. Neste artigo apresentamos como exemplo de aplicação do referido princípio os métodos possíveis de serem aplicados na parte superior da margem (berma), que só é atingida pela água, quando ocorrem as enchentes excepcionais, apresentando declividade praticamente nula e na parte inclinada da margem (talude ou ribanceira). Em função da declividade os métodos de restauração baseiam-se no uso de material formado por plantas mortas ou vivas. Estes métodos estão divididos em quatro categorias principais, a saber:

11.1.1 - Utilização de galhos, gravetos, troncos, árvores, raízes

A substituição de galhos e gravetos, varas finas e flexíveis, ramos e paus curtos por **árvores** inteiras dispostas horizontalmente ao longo da margem dos rios, constituem-se na substituição de um material vegetal por outro, também de baixo custo e relativa eficiência na contenção de erosão.

A linha de árvores diminui a velocidade do escoamento e captura sedimentos e gravetos, tornando o local adequado para o crescimento vegetal. Entre as árvores podem ser colocadas mudas de plantas que, protegidas, tem desenvolvimento mais rápido. Tanto a técnica de revestimento com árvores como o uso de gravetos e galhos tem como princípio a diminuição da velocidade do escoamento que leva à erosão de margens. Ver figura 1.

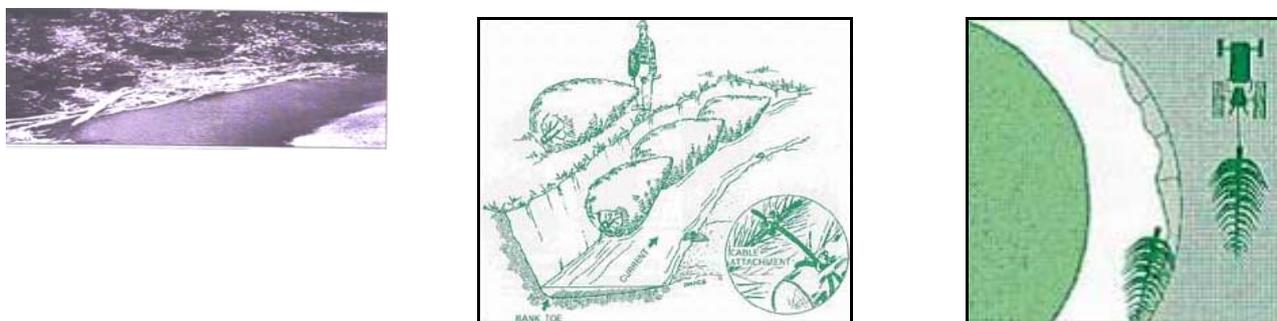


Figura 1 - Uso de árvores para controle de erosão
Fonte: SANTANA, (2006).

A restauração de canais com o uso combinado de revestimento com **troncos transversais e pedras** é uma prática bastante difundida e refinada. Os troncos estabilizam as margens e criam correntes circulares que mantêm o sedimento em suspensão facilitando seu transporte ao longo do curso d’água. Ver figura 2.

O nome de rootwads ocorre porque a parte mais visível do tronco, direcionada para o leito, são as raízes. As pedras direcionam o fluxo, possibilitam a formação dos meandros e a dissipação de energia. Este arranjo também permite a criação de zonas que servem de habitat para peixes e invertebrados.

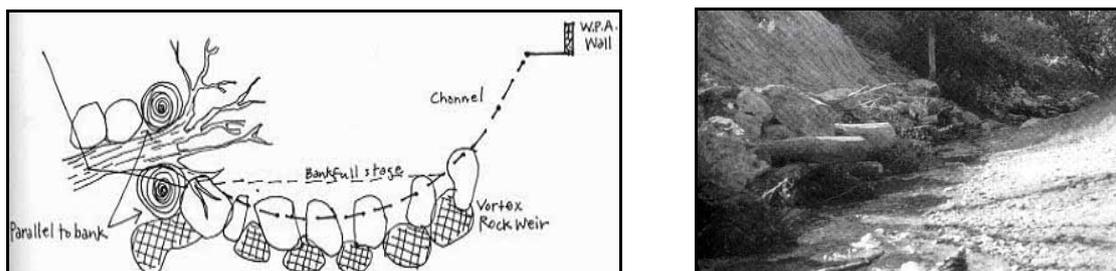


Figura 2: Restauração de canal com troncos e pedras
 Fonte: RIRLEY, (1998).

11.1.2 - Utilização de mudas menores ou maiores cortadas da vegetação ribeirinha

Cortes de espécies ribeirinhas plantadas nas margens servem como base para a prática de restauração de rios, pois estruturam e estabilizam o terreno. Ver figura. Por meio delas, podem ser restabelecidas a comunidade de plantas do local. Além de mudas menores (cuttings) podem ser usadas mudas de maior dimensão. O uso de cortes de ramos ou troncos, utilizados como estacas vivas, dispostos em padrões pré-estabelecidos, representam grande potencial na restauração de rios. Estacas vivas de maior dimensão (pole plantings) transformam-se mais rapidamente em árvores com ganhos significativos na estruturação da margem, porém os efeitos desfavoráveis à estabilidade das margens com o uso de árvores devem ficar limitados às dimensões das árvores. Ver figura 3.

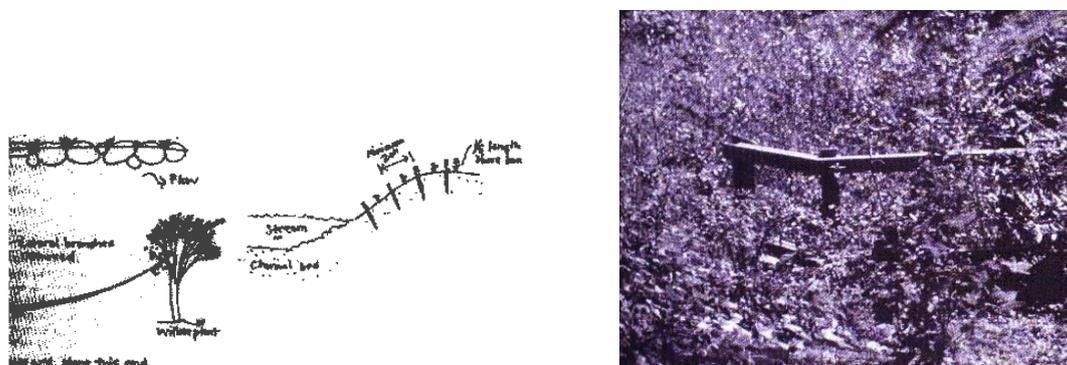


Figura 3: Uso de árvores para controle de erosão
 Fonte: SANTANA, (2006).

11.1.3 - Utilização de uma estrutura de sustentação de talude formada com vegetação morta e viva

A utilização de varas finas e flexíveis, ramos e paus curtos com que se fazem feixes (assemelhando-se a diques), entretecendo-as com outras varas horizontais mais grossas, formando o que se denomina faxina. É uma técnica, de utilização relativamente simples, de pequeno custo e sendo adequada para pequenos córregos. Ver figura 4. Embora às proteções com ramos, varas e ervas, sejam os menos permanentes de todos os tipos de proteção, apresentam certas dificuldades na sua construção, porém com uma periódica conservação podem ser mantidas em bom estado de funcionamento. Atualmente poderiam ser utilizadas como obras provisórias em regiões de extrema pobreza.

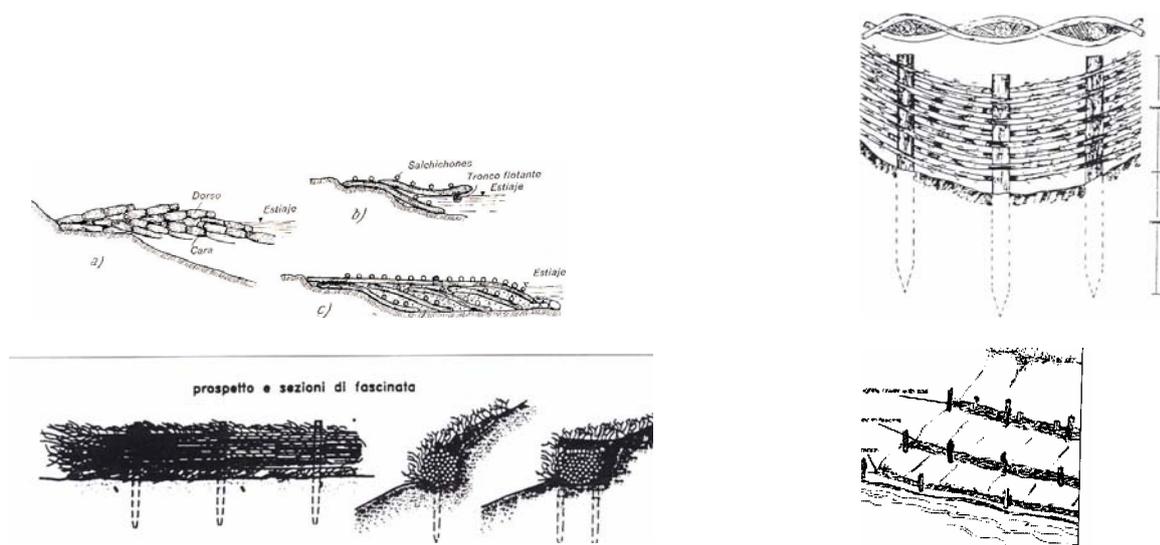


Figura 4: Proteção Direta de Margens – Faxinas
 Fonte: SILVA, (2004).

11.1.4 - Utilização de estruturas reforçadas para a recuperação de margens em trechos urbanos

A restauração de margens de cursos d'água localizados em bacias hidrográficas, consolidadas pela ocupada desordenada, torna-se viável com a utilização de estruturas, tais como espigões, diques, enrocamentos, gabiões, cribwall e outras. Estas estruturas quando implantadas e, incorporadas com um mínimo impacto estético e ambiental podem trazer à cidade um embelezamento e criar áreas de convivência. Segundo Rirley (1998), a combinação de medidas estruturais com soluções vegetativas são as melhores soluções para as situações mais críticas. A seguir são fornecidos exemplos destas estruturas.

11.2 - Utilização de espigões

São estruturas transversais que avançam desde a margem em direção ao leito do rio, até a nova linha de margem que se pretende formar. Funcionam como defletores do escoamento, afastando-o da margem e combatendo a erosão. Os espigões permeáveis apresentam a vantagem de reduzir velocidades da corrente em vez de desviá-las, o que acelera a sedimentação, em ambiente aquoso, de substâncias minerais ou rochosas e substâncias de origem orgânica. Ver figura 5.



Figura 5 – Proteção Indireta – Espigão permeável, confeccionado troncos, tábuas e bambu
 Fonte: GÓIS & ARAÚJO, (2000).

11.3 - Utilização de diques

São estruturas longitudinais construídas em geral quando as margens estão sendo erodidas, para facilitar a manutenção de uma continuidade até a nova margem. Os diques assim como os espigões desviam e orientam o fluxo de forma contínua, protegendo a margem e ao mesmo tempo definindo um melhor traçado ao canal. Usa-se, por exemplo, estacas de bambu, entrelaçados de bambu ou outros vegetais, que formam painéis facilitando a sedimentação e formando verdadeiros diques de pestana nos rios de muito transporte sólido em suspensão. Ver figura 6.

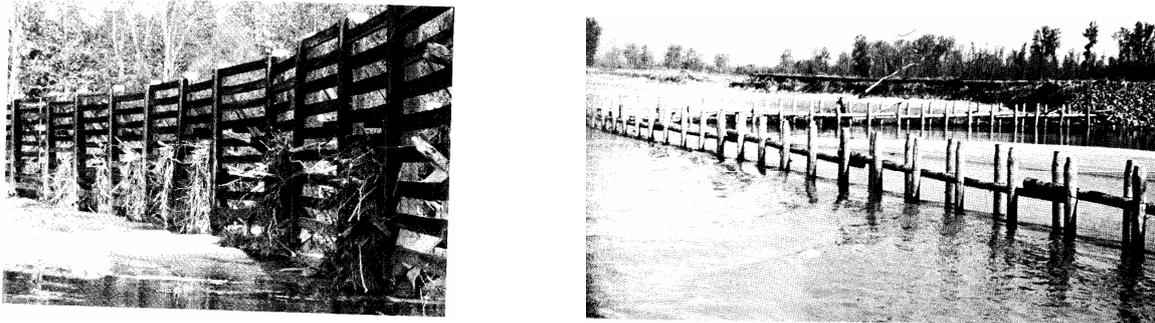


Figura 6 – Proteção Indireta – Construção de diques com troncos e tábuas e troncos de madeira
Fonte: SILVA, (2004).

11.4 - Utilização de peças pré-moldadas em concreto

As peças pré-moldadas em concreto identificadas como “Jakes” são utilizadas como estruturas de reconstrução de taludes para rios de portes variados. São estruturas de fácil manuseio e instalação. Podem ser ajustadas para locais condições variadas e causam impactos ambientais relativamente pequenos. A estrutura “A-Jakes” pode prover a estabilidade no talude ou linha de costa em proporções maiores do que, por exemplo, o uso de um conjunto de rochas com peso similar. Apresentam como características principais, resistência a esforços mecânicos oriundos do transporte e colocação, resistência a esforços mecânicos transmitidos pelo maciço terroso e ou rochoso. Ver figura 7.

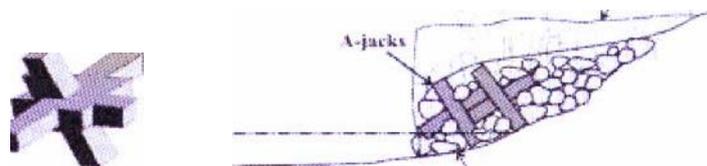


Figura 7 – Proteção Indireta – Uso de “A- Jack”
Fonte: SANTANA, (2006).

11.5 - Utilização de caixotes em madeira

O uso de caixotes de madeira na base de taludes surgiu, inicialmente, como uma forma de desenvolver locais para os peixes nos cursos de água. Em conjunto com outras técnicas de estabilização, como a cobertura vegetal de encostas, atua na estabilização de margens. Ver figura 8.

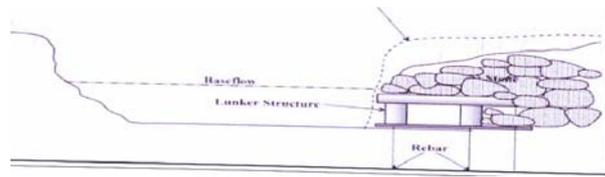


Figura 8 – Proteção Indireta – Seção longitudinal de um curso d’água com caixote para peixes
Fonte: SANTANA, (2006).

11.6 – Utilização de geomanta

Os geossintéticos são uma nova família de materiais sintéticos empregados em geotecnia. O termo deriva de “geo”, referindo-se a terra, e “sintéticos”, relacionando-se com a matéria-prima com que são fabricados. Os principais tipos de geossintéticos são: geotêxteis; geogrelhas, geomalhas; geomembranas; geomantas; geocompostos; geocélulas e outros geossintéticos (Silva, 2004).

Uma vegetação densa e bem fixada é a base para proteção natural de margens contra erosão. Para isso, é necessário que tal vegetação apresente um bom sistema de raízes, podendo este ser reforçado por elementos artificiais ou por outros meios. Além de desempenhar proteção contra erosão, age como elemento de reforço para as raízes, proporciona baixo impacto ambiental, permitindo às margens uma rápida recuperação de sua paisagem natural, após sua aplicação.

A geomanta tipo “flatback”, apresenta em uma das faces (a inferior) um elemento bidirecional, em monofilamentos de poliamida, termosoldados à estrutura tridimensional principal formando uma geomanta com capacidade de confinar materiais granulares. Ver figura 9.

Esta geomanta é toda produzida em nylon e apresenta, devido ao seu processo produtivo, elevado índice de vazios. Tal característica associada à presença da camada bidirecional em sua face inferior permite a formação de um colchão que preenchido com pedrisco (2 a 6 mm de diâmetro) pode ser aplicado como revestimento em locais onde a vegetação não pode se desenvolver (margens de cursos d’água com baixa velocidade e lagos, abaixo do nível d’água).

As biomantas desenvolvem a mesma função que as geomantas, isto é, a proteção contra erosões superficiais, porém, por serem produzidas com materiais biodegradáveis, apresentam-se como uma solução de baixo impacto ambiental, pois se degradarão após o desenvolvimento da camada vegetal desejada. Ver figura 9.

A utilização da biomanta, para a proteção de encostas, constitui-se numa alternativa extremamente viável, pois atende várias viabilidades, inclusive a ambiental. Ver figura 10.

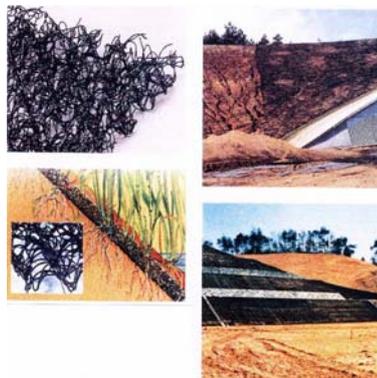


Figura 9 – Proteção direta – Geomanta tipo “flatback”
Fonte: SILVA, (2004).

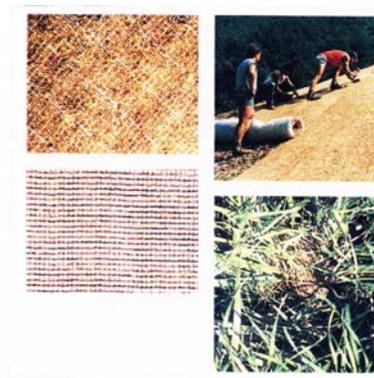


Figura 10 – Proteção direta – Biomanta.
Fonte: SILVA (2004).

11.7 - Utilização de gabiões

O gabião é indicado para construção de muros de contenção, em qualquer ambiente, clima ou estação, bem como revestimentos de margens ou fundo de canais. Os tipos de gabiões mais utilizados são os do tipo caixa, tipo manta e o tipo saco. É uma alternativa para projetos de recuperação de cursos d’água quando a instabilidade do talude é mais grave, funcionando também como suporte para revegetação. Segundo a maneira em que é feito é feito e instalado, o uso de gabiões pode ser um interferência menos ou mais significativa na forma e propriedades naturais do curso d’água. Em projetos de recuperação de canais, o ideal é que os sacos em tela sejam preenchidos com pedras e terras e cobertos pelo solo e plantas (Rirley, 1998:385).

Por outro lado, paredes em gabião, pela implantação inadequada ou pela própria instabilidade do canal, podem sofrer rupturas, intensificando os problemas do curso d’água. No município de Belo Horizonte, por exemplo, seu uso é cada vez mais restrito, pois existem casos freqüentes de sua ruptura devido à instabilidade do solo. Além disso, a tela do gabião reduz a velocidade da água, devido à sua alta rugosidade, e cria uma resistência ao escoamento o que, dependendo do local, não é desejável. Adicionalmente, ela pode ser um fator de retenção de resíduos e lixo. As pedras também podem reter material orgânico de esgotos e lixos, favorecendo o aparecimento de ratos, baratas e escorpiões. Uma das conseqüências é que os peixes e outros animais aquáticos que antes viviam naquele ambiente, com o gabião, tendem a ser substituídos por uma fauna nociva ao ser humano. Ver figura 11.

A conclusão é que o uso de gabião em projeto de recuperação, quando necessária, deve ser feito de forma criteriosa, segundo as condições do local, e, sempre que possível, com a

incorporação de medidas vegetativas. A mostra uma forma de uso do gabião com ênfase na recuperação do curso d'água.

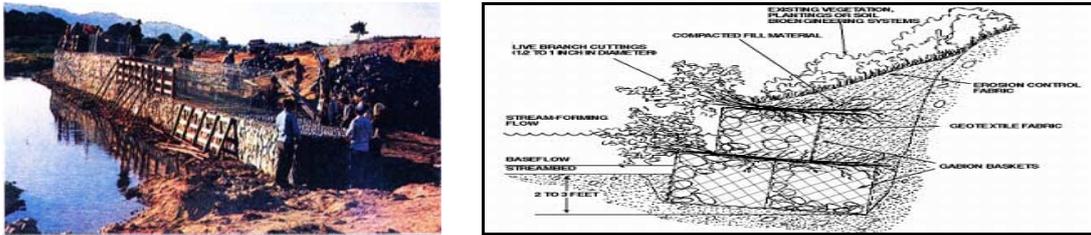


Figura 11- Seção transversal do gabião com revestimento vegetal
 Fonte: SILVA, (2004).

11.8 - Utilização de enrocamento

Os enrocamentos ou rip-raps consistem no simples revestimento de taludes com pedras ou blocos artificiais, objetivando a formação de um maciço de pedras jogadas ou arrumadas, ou blocos arrumados, destinadas a proteger as margens do rio dos efeitos da erosão. As dimensões das pedras são compatíveis com as velocidades de escoamento. A estabilidade dos revestimentos com enrocamento é função de diversos aspectos, tais como a velocidade de escoamento, as condições de turbulência de fluxo, as propriedades físicas das rochas utilizadas.

As altas velocidades em rios, com trechos, intensamente urbanizados ocorre devido ao fato da “passagem do rio ocorrer em espaço restrito”. No enrocamento, o espaço entre as pedras, pode receber muda de plantas, o que ressalta no surgimento de uma bela paisagem no ambiente urbano. Ver figura 12.

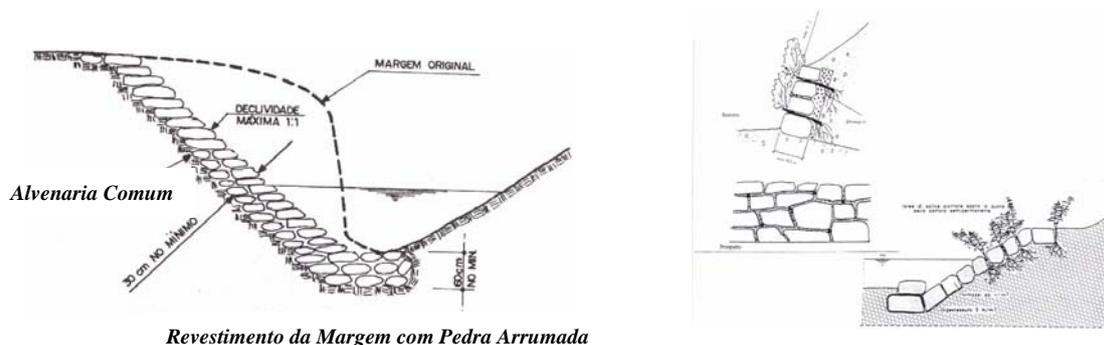


Figura 12: Proteção Direta – Enrocamento
 Fonte: SILVA, (2004)

11.9 - Utilização de crib-wall (parede de engradado / berço de madeira)

São estruturas formadas por elementos de madeira (toras de madeira), que são montadas no local em forma de “fogueiras” ou “gaiolas” justapostas e interligadas longitudinalmente, cujo espaço interno e cheio, de preferência, com material granular graúdo (brita grossa ou pedra de mão), solo e mudas.

As mudas geram um volume de raiz que junto com a madeira estabilizam o talude e controlam o processo erosivo.

Estas estruturas possibilitam uma proteção efetiva e imediata para as margens íngremes, com o rápido estabelecimento de vegetação. As pedras e toras de madeira abaixo da linha d’água formam um local para descanso de peixes. Ver figura 13.

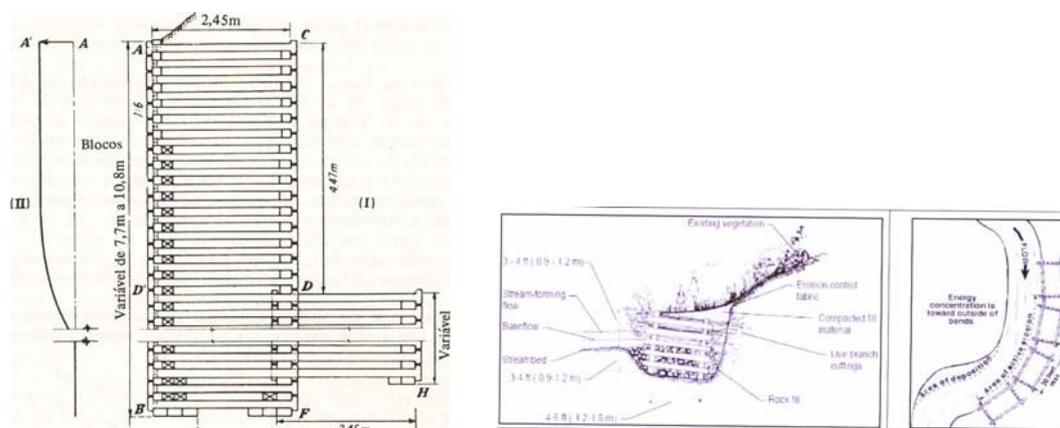


Figura 13: Proteção Direta - Crib-Wall - Madeira disposta em forma de fogueira protegendo a margem
 Fonte: SILVA, (2004).

12 - CONCLUSÃO

As estratégias conservacionistas e a restauração do habitat aquático passaram a ocupar papel de relevância científica e social no momento em que a recuperação de rios passou a ser feita com base na morfologia fluvial, assim estruturas passaram a ser colocadas dentro do leito do rio, mas sempre de forma a respeitar a conformação dos leitos, pois os mesmos evoluem livremente. A incorporação da morfologia fluvial nas abordagens de recuperação de rios permite alcançar a sua renaturalização de forma científica, resultando numa redução de distúrbios ambientais devido, em parte, a adoção de técnicas de bioengenharia.

As técnicas de bioengenharia aplicadas à engenharia hidráulica apresentam como resultados, vantagens e desvantagens.

As principais vantagens levantadas no desenvolvimento deste artigo, tendo por base a consulta a outros trabalhos, são: baixo custo de implantação e manutenção em relação aos métodos tradicionais; baixa manutenção da vegetação após o seu desenvolvimento; benefícios ambientais para a vida animal e vegetal, além da incorporação de valores estéticos ao meio ambiente e

melhoria da qualidade das suas porções físicas; aumento da estabilidade natural do solo; possibilidade de adoção e execução de obras hidráulicas envolvendo técnicas de bioengenharia em locais de difícil acesso e ambientalmente sensíveis tem-se como limitações: a temporada de introdução das técnicas é frequentemente limitada à estação dormente das vegetações que serão utilizadas; possibilidade de não adaptação das plantas introduzidas; necessidade de mão-de-obra com habilidade e experiência específica, o que nem sempre é encontrado; necessidade de formação de mão-de-obra com conhecimentos específicos; necessidade de desenvolvimento de um plano de educação ambiental, divulgando as técnicas de bioengenharia aplicadas a execução de obras hidráulicas fluviais.

13 - RECOMENDAÇÕES

A renaturalização dos rios urbanos exige a formação de equipes multidisciplinares, pois a execução de obras hidráulicas com a utilização de técnicas de bioengenharia, faz com que engenheiros tenham necessidade de conhecimentos específicos de outras áreas do saber, assim como outros profissionais, também, terão a necessidade de conhecimentos da área da engenharia, e em específico da hidráulica fluvial.

14 - REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. 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.
2. BRIGHETTI, G.; ALMEIDA, C. Apostila: Navegação Interior e Portos Marítimos. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002. Fascículo I. 143 p.
3. CAMARGO JUNIOR, 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.
4. OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO S. N. A. Geologia de engenharia. 1 ed. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. 586 p.
5. PEREIRA, A. Domador de rios: história e perfil de Kokei Uehara. 1 ed. Rio de Janeiro: Expressão e Cultura; São Paulo: Associação dos Antigos Alunos da Escola Politécnica, 1994. 125 p.
6. RIRLEY, A. L. *Restoring streams in cities: a guide for planners, policy makers and citizens.* Washington DC: Island Press, 1998.
7. SANTANA, E. V. Revitalização de cursos d'água. 89 p. Monografia (Graduação) – Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2006.

8. 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.
9. SILVA, P. J., VIUDE, C. A., NASCIMENTO, J. A. Renaturalização dos cursos d'água. In: EHWC'2006 – CONGRESSO MUNDIAL DE PESQUISAS AMBIENTAIS E SAÚDE, 2006, Santos. Anais.CD – ROM.
10. TUCCI, C. E. M., Bertoni, J. C. (2003) *Inundações urbanas em América Latina*. ABRH-Ed.UFRGS, Porto Alegre, RS.