



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

ESTUDO DE REVITALIZAÇÃO DO CÓRREGO DO ACABA MUNDO – MG PELO
MÉTODO WETLAND

LOURDES MANRESA CAMARGOS

BELO HORIZONTE – MG

2015

LOURDES MANRESA CAMARGOS

ESTUDO DE REVITALIZAÇÃO DO CÓRREGO DO ACABA MUNDO – MG PELO
MÉTODO WETLAND

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Keizo Odan

BELO HORIZONTE
2015

CAMARGOS, Lourdes Manresa.

S---

Estudo de Revitalização do Córrego do
Acaba Mundo pelo método *wetland*
/ Lourdes Manresa Camargos. – Registro : 2015

--f.; -- cm

Orientador: Prof. Dr. Frederico Keizo Odan

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2015

Planejamento Urbano 2. Revitalização de rios urbanos 3. Método
wetland I. Camargos, Lourdes Manresa. Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais. III. Estudo de Revitalização do Córrego do
Acaba Mundo – MG pelo método *wetland*.



Serviço Público Federal – Ministério da Educação
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**ATA DE DEFESA FINAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II**

Aos vinte e seis dias do mês de novembro de 2015, no *campus* I do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, reuniram-se os professores **Frederico Keizo Odan**, **Evandro Carrusca de Oliveira** e **Vandeir Robson da Silva Matias** para participarem da banca de avaliação do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “*Estudo de revitalização do Córrego do Acaba Mundo – MG pelo método wetland*” de autoria da aluna **Lourdes Manresa Camargos**, do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. Uma vez avaliado, o trabalho foi declarado:

- Aprovado.
 Reprovado.

Belo Horizonte, 26 de novembro de 2015.

Banca Examinadora:

Prof. Orientador - Frederico Keizo Odan

Prof. Evandro Carrusca de Oliveira

Prof. Vandeir Robson da Silva Matias

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Frederico Odan, pelas críticas e paciência durante a realização deste trabalho. Aos colegas de curso e amigos pelo apoio em todos os momentos. Aos professores pelos ensinamentos e por incentivar o pensamento crítico sempre. À Núria pela inspiração e incentivo. Ao meu pai e à minha mãe pela orientação e apoio. À Neusa pelo carinho de sempre e a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

RESUMO

CAMARGOS, L.M. **Estudo de Revitalização do Córrego do Acaba Mundo – MG pelo método wetland.** (2015). 70f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

O processo de urbanização orientado pelas políticas públicas higienistas e falta de planejamento e investimentos na infraestrutura resultaram na degradação e desvalorização dos rios urbanos. Atualmente buscam-se soluções alternativas que reincorporem os rios à paisagem urbana. Neste contexto, o presente estudo propõe a revitalização do Córrego do Acaba Mundo, localizado em Belo Horizonte, através do método de tratamento wetland, visando a recuperação das suas funções ambientais, ecológicas, paisagísticas e sociais e, conseqüentemente melhorando a qualidade de vida da população. Sendo assim, propôs-se a implantação do método de tratamento wetland do tipo funda com fluxo superficial, no qual o sistema utiliza macrófitas emergentes com o fluxo da água mantido na superfície do solo. Assim, com base em diretrizes e recomendações para wetlands construídas por este método, estimou-se a área ocupada em 119.025,6 m², a um custo aproximado de US\$ 285.600,00. A área ocupada pela wetland é relativamente pequena, representando 1,46% da área de drenagem do referido córrego. Além disso, este método possui um baixo custo comparado a outras alternativas para a melhoria da qualidade da água, como as lagoas anaeróbicas ou lagoas aeradas. Sendo assim, este método permite a consideração de uma visão urbanística de valorização e inclusão dos rios e de privilegiar e construir novas áreas verdes, requalificando o potencial do espaço natural da cidade.

Palavras-Chave: Revitalização de rios; Planejamento Urbano; wetland; Córrego do Acaba Mundo.

RESUMEN

CAMARGOS, L.M. **Estudio de Revitalización del Arroyo Acaba Mundo – MG mediante el método Wetland.** (2015). 70f. Monografía (Graduación de Ingeniería Ambiental y Sanitaria) – Departamento de Ciencia y Tecnología Ambiental, Centro Federal de Educación Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

El proceso de urbanización guiado por unas políticas higienistas y una falta de planificación e inversiones en infraestructura dieron como resultado una degradación y desvalorización de los ríos urbanos. Actualmente se procuran soluciones alternativas que reincorporen los ríos al paisaje urbano. En ese contexto, el presente estudio propone la revitalización del Arroyo Acaba Mundo, ubicado en Belo Horizonte, mediante el método de tratamiento wetland, con el fin de recuperar sus funciones ambientales, ecológicas, paisajísticas y sociales y, en consecuencia, mejorar la calidad de vida de la población. Sobre la base de directrices y recomendaciones para wetlands construidas del tipo honda con flujo superficial que utilizan plantas emergentes, se estimó que el área ocupada era de 119.025,6 m², con un coste aproximado de US\$ 285.600,00. El área ocupada por wetland es relativamente pequeña y representa el 1,46% del área de drenaje del referido arroyo. Además, este método posee un coste bajo comparado con otras alternativas que mejoran la calidad del agua del arroyo. Así pues, este método permite considerar una visión urbana de recuperación e inclusión de los ríos y favorecer y crear nuevas áreas verdes, que recalifican el potencial del espacio natural en la ciudad.

Palabras-clave: Revitalización de los ríos; Ordenamiento Urbano; Wetland; Arroyo Acaba Mundo.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Impactos da urbanização nos corpos de água e no ciclo hidrológico.....	19
Figura 2 - Ecossistemas de um rio em seu estado natural e retificado.....	20
Figura 3 - Sistemas que utilizam plantas aquáticas flutuantes.....	34
Figura 4 - Sistemas que utilizam macrófitas emergentes com fluxo superficial	35
Figura 5 - Sistemas que utilizam Macrófitas emergentes com fluxo horizontal sub-superficial.	36
Figura 6 - Sistemas que utilizam Macrófitas emergentes com fluxo vertical.	37
Figura 7 - Sistema de wetland no Parque “du Chemin de Lie” em Nanterre, França.....	40
Figura 8 - Canal poluído em Fuzhou, antes da revitalização	40
Figura 9 - Canal revitalizado em Fuzhou.....	41
Figura 10 - Mapa da Sub-Bacia do Córrego do Acaba Mundo e suas nascentes.	47
Figura 11 - Ribeirão Arrudas e seus afluentes.	48
Figura 12 - Parque Municipal de Belo Horizonte em 1895, 1928 e atualmente.....	49
Figura 13 - Trecho do Córrego do Acaba Mundo atualmente	50
Figura 14 - Trecho do Córrego do Acaba Mundo no passado	50
Figura 15 - Cachoeira natural do Córrego do Acaba Mundo que existiu no Parque Municipal.	52
Figura 16 - Córrego do Acaba Mundo antes da sua canalização na Rua Bernardo Guimarães.	53
Figura 17 - Córrego do Acaba Mundo canalizado em trecho próximo a Igreja de Nossa Senhora da Boa Viagem.....	53
Figura 18 - Sinalização do Córrego do Acaba Mundo na Praça JK.	54
Figura 19 - Bacia do Córrego Acaba Mundo	55
Figura 20 - Planta esquemática de uma wetland construída desde o pré-tratamento até o final	57
Figura 21 – Juncus sp.....	58
Figura 23 - Módulo 1	62
Figura 24- Módulo 2	62
Figura 25 - Módulo 3	63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fatores de degradação dos cursos d’água e suas consequências.	22
Quadro 2 – Conceitos higienistas e conceitos inovadores de drenagem.....	24
Quadro 3 - Objetivos da Revitalização dos cursos d’água em ambientes urbanos.....	25
Quadro 4 - Mecanismos de remoção dos contaminantes em wetlands construídas.....	32
Quadro 5 - Espécies de macrófitas utilizadas em wetlands construídos.....	38
Quadro 6 – Redução de poluentes em wetlands construídas para melhoria da qualidade das águas pluviais.....	43
Quadro 7 - Redução de metais em áreas urbanas em wetlands construídas para melhoria da qualidade das águas pluviais.....	43
Quadro 8 - Nascentes cadastradas na Sub-Bacia do Córrego do Acaba Mundo e seus cuidadores.	46
Quadro 9 - Custos de Implantação de Sistemas de tratamento de esgoto.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AI	Área impermeável
A	Área da bacia
CCNC	Comissão Construtora da Nova Capital de Minas
CEFET-MG	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
COT	Carbono Orgânico Total
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETAF	Estação de Tratamento de Águas Fluvias
P	<i>first flush</i>
PMARG	Parque Municipal Américo Renné Gianetti
PNRH	Programa Nacional de Recursos Hídricos
R _v	Coefficiente volumétrico
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
WQ _v	Volume para melhoria da qualidade das águas pluviais

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVO	15
Objetivos específicos	15
3. JUSTIFICATIVA	16
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
4.1 Os Rios no processo de urbanização das cidades	18
4.1.1 As consequências do descaso com os Rios Urbanos	18
4.1.2 A recuperação de Rios Urbanos.....	23
4.1.3 Objetivos da Revitalização dos Rios Urbanos	24
4.1.4 Termos mais utilizados	26
4.1.5 Considerações para Revitalização de Rios Urbanos	26
4.1.6 Vantagens da Revitalização de Rios	28
4.1.7 Programas e Projetos relacionados à revitalização	29
4.2 O método wetland construído	31
4.2.1 Sistemas que utilizam plantas aquáticas flutuantes.....	34
4.2.2 Sistemas que utilizam plantas aquáticas emergentes	35
4.3 Macrófitas	38
4.4 Material de enchimento.....	39
4.5 Exemplos de wetlands em rios urbanos	39
5 METODOLOGIA.....	42
5.1 Dimensionamento por área da bacia	43
5.2 Critérios de projeto.....	44
6 ESTUDO DE CASO.....	46
6.1 Caracterização do Córrego do Acaba Mundo	46
6.2 Área de estudo.....	48

6.3 Histórico do Córrego do Acaba Mundo	51
6.4 Área de drenagem	54
6.5 Sistema wetland no Córrego Acaba Mundo	55
6.6 Macrófitas	57
6.7 Dimensionamento	58
6.8 Custo	60
7 RESULTADOS	61
8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	64
REFERÊNCIAS	66

1. INTRODUÇÃO

As cidades brasileiras passaram por um acelerado processo de urbanização com poucos investimentos na infraestrutura básica e também no saneamento básico. Com isso, os rios se transformaram em meios receptores de esgoto e lixo. Assim, para evitar os transtornos dos rios e córregos poluídos, a maioria dos corpos d'água foram canalizados e ocultados da paisagem urbana, tornando difícil encontrar um córrego ou rio que não tenha sido de alguma maneira alterado por atividades humanas.

Segundo Binder (2001), a estratégia da engenharia hidráulica foi orientada, durante muito tempo, no sentido de retificar o leito dos rios e córregos para que suas vazões fossem dirigidas para jusante pelo caminho mais curto e com a maior velocidade de escoamento possível. Esta estratégia visava ganhar novas terras para a agricultura, novas áreas para a urbanização e minimizar os efeitos locais das cheias.

A realização dessas obras hidráulicas consistiu em reduzir o perfil do rio e aprofundar o seu leito, aumentando a velocidade da corrente. A frequência de transbordamento das cheias menores e médias diminuiu com o aumento da capacidade de vazão, porém permaneceram as grandes enchentes, que causam estragos ainda maiores (BINDER, 2001).

Além disso, a canalização e o descaso com os rios urbanos alteram as condições naturais dos cursos d'água e modificam a estrutura de seu entorno, causando inúmeras interferências ecológicas, ambientais e paisagísticas. Entre as diversas modificações, destacam-se: alteração do ciclo hidrológico; diminuição da biodiversidade, devido à perda de habitats, perda da qualidade da água, devido a lançamentos de efluentes e lixo etc (COSTA, 2008).

Assim como em outras cidades brasileiras, quando se projetou a capital de Minas Gerais, antiga São João Del Rey no final do século XIX, o córrego Acaba Mundo, que passava por Belo Horizonte, foi ignorado. Com o objetivo de expandir o crescimento urbano e evitar o problema das enchentes, o córrego foi retificado na década de 20 e ignorado da paisagem urbana (BORSAGLI, 2011).

Em vista da atual crise hídrica e a percepção de que a água é um bem finito, percebe-se a necessidade de propor medidas que valorizem e recuperem os recursos hídricos que foram ignorados e degradados.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo propor a revitalização do Córrego do Acaba Mundo no trecho inserido dentro do Parque Municipal Américo Renné

Giannetti. Para tanto, foi proposto a implementação do sistema de tratamento do córrego pelo método wetland.

O estudo, além de propor a recuperação das funções ecológicas, ambientais, e paisagísticas do córrego, visa também incentivar a revitalização de outros córregos e rios em Belo Horizonte e contribuir para a melhoria da qualidade dos corpos d'água da cidade.

2. OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho é propor a revitalização do Córrego do Acaba Mundo pelo método de tratamento wetland.

Objetivos específicos

- Propor a recuperação do Córrego do Acaba Mundo de modo a integrá-lo na paisagem urbana e regenerar o mais próximo possível o seu natural;
- Relacionar a revitalização do Córrego Acaba Mundo com outros projetos e planos existentes sobre o tema de revitalização de rios urbanos;
- Revisar o histórico do processo de canalização do Córrego do Acaba Mundo em Belo Horizonte;
- Estimar a área ocupada e o custo de implantação do sistema wetland no córrego;

3. JUSTIFICATIVA

A urbanização desordenada das cidades brasileiras afetou diretamente os rios urbanos, alterando a qualidade de suas águas, interferindo no ciclo hidrológico, diminuindo a biodiversidade de seu entorno, além de perder sua função social e paisagística.

Dessa forma, o presente estudo propôs uma alternativa para a revitalização do Córrego do Acaba Mundo, a fim de contribuir para a recuperação de suas funções ecológicas, ambientais, paisagísticas e sociais.

A recuperação do Córrego do Acaba Mundo justifica-se pelas legislações vigentes no Brasil. Dentre elas, está a Lei Federal 9.433 (BRASIL, 1997), ou Lei das Águas, promulgada em 08 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos - SINGREH, definindo, de forma objetiva, seis fundamentos jurídicos, que são:

- a água é um bem público;
- a água é um recurso limitado e dotado de valor econômico;
- em caso de escassez, a prioridade será para o consumo humano e animal;
- a gestão deve possibilitar o uso múltiplo;
- a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação da política e do sistema nacional;
- a gestão deve ser descentralizada, com a participação do poder público, usuários e comunidades.

Além da Lei das Águas, a Constituição Federal de 1988 (Título VIII, Capítulo VI, Artigo 225), garante que “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988).

Com a criação da Política Nacional dos Recursos Hídricos, o Brasil assumiu compromissos importantes no tema, dentre eles, está incluído nas políticas públicas o Programa de Revitalização de Bacias Hidrográficas destinado à proteção da biodiversidade (PNRH, 2006).

O presente estudo, além de auxiliar no cumprimento das legislações vigentes, auxilia também no planejamento das atividades propostas pelos Comitês das Bacias Hidrográficas. Dentre eles, está o subcomitê da bacia hidrográfica do Ribeirão Arrudas, a qual compreende o Córrego do Acaba Mundo do estudo em questão e tem por finalidade realizar a gestão descentralizada e participativa dos recursos hídricos da bacia, na perspectiva de proteger os seus mananciais e contribuir para o seu desenvolvimento sustentável.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Os Rios no processo de urbanização das cidades

O desenvolvimento das cidades desde civilizações antigas ocorreu ao longo dos corpos hídricos, por razões funcionais, estratégicas ou culturais. Os cursos d'água são elementos muito importantes da paisagem, atuando como estruturadores do desenvolvimento urbano e também como limitadores e barreiras.

Segundo Costa (2002), os rios “cruzam o tecido urbano nas suas diferentes modulações: florestas urbanas, áreas livres públicas, áreas industrial, comercial, residencial, entre outras. No entanto, devido à urbanização, estes rios estão em grande parte ocultos na paisagem”.

De acordo com Miranda (2013), a cidade e os corpos d'água possuem duas interações bastante distintas. Na primeira, o corpo d'água é valorizado e é incorporado à paisagem urbana, geralmente com rios e lagos de maior porte. Na segunda, o corpo d'água é desconsiderado e as edificações ficam de costas para ele. Muitas vezes, nas cidades brasileiras, os cursos d'água urbanos de menor porte são cobertos, tornando-se dutos de esgoto.

Segundo o Programa Municipal de Saneamento (2015), as justificativas apresentadas para essa exclusão e canalização dos cursos d'água eram feitas sob os seguintes argumentos: o curso d'água transformou-se em esgoto a céu aberto; a comunidade deseja a canalização; a canalização é necessária para viabilizar a implantação de uma via; a canalização possibilita a implantação dos interceptores de esgotos; a canalização facilita a manutenção do córrego e o córrego deve ser canalizado para aumentar a velocidade de escoamento e reduzir os níveis de pico das cheias e, conseqüentemente, reduzir as ocorrências de inundações.

Contudo, essas medidas tratam-se de um falso saneamento, pois apenas esconde os problemas, não os resolve e nem combate suas causas. As conseqüências do descaso com os rios urbanos são inúmeras e foram detalhadas no próximo tópico.

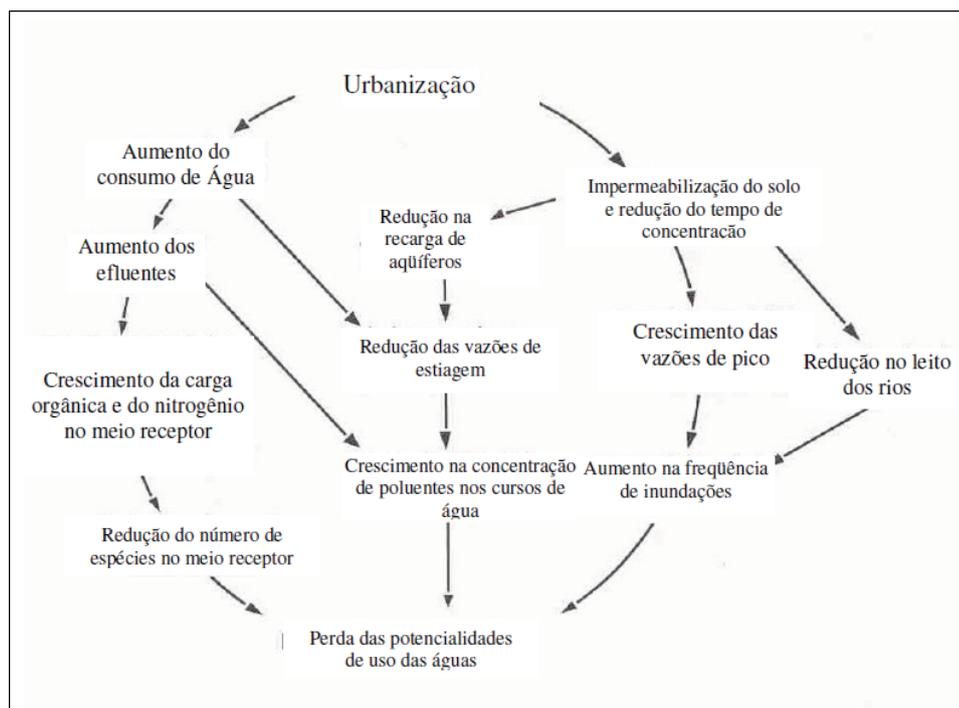
4.1.1 As conseqüências do descaso com os Rios Urbanos

Ao desvalorizar os rios urbanos, perde-se as atribuições ecológicas dos rios, que são: a condução da água da chuva, a drenagem dos terrenos da bacia hidrográfica a que pertence, a fertilização das suas várzeas, dos oceanos e lagos; fornecer água para o lençol freático;

controlar o nível do lençol freático; formação e manutenção dos nichos ecológicos; servir de alimento e refúgio para a flora e a fauna; dar sustentação à mata ciliar; autodepuração de poluentes; a formação de meandros, deltas e mangues e equilibrar a salinidade dos lagos e oceanos.

A Figura 1, de CHOCAT (1997, apud Batista, 2013), esquematiza um fluxograma dos impactos da urbanização nos corpos de água e no ciclo hidrológico. A urbanização gera um aumento do consumo de água e, conseqüentemente, o aumento de efluentes gerados. Com isso, há um aumento da poluição dos cursos d'água (com crescimento da carga orgânica e nitrogênio). Conseqüentemente, há uma redução da biodiversidade dos cursos d'água e diminuição das possibilidades de seu uso (pesca, recreação, paisagística, ambiental, entre outras).

Figura 1 - Impactos da urbanização nos corpos de água e no ciclo hidrológico.



Fonte: CHOCAT (1997, apud Batista, 2013)

Além disso, a urbanização e canalização dos rios diminuem as áreas permeáveis, reduzindo o potencial de infiltração das chuvas, fazendo com que haja aumento do escoamento superficial das águas. A diminuição da taxa de infiltração resulta no aumento da intensidade das cheias das bacias urbanas, com aumento da velocidade e da vazão das águas.

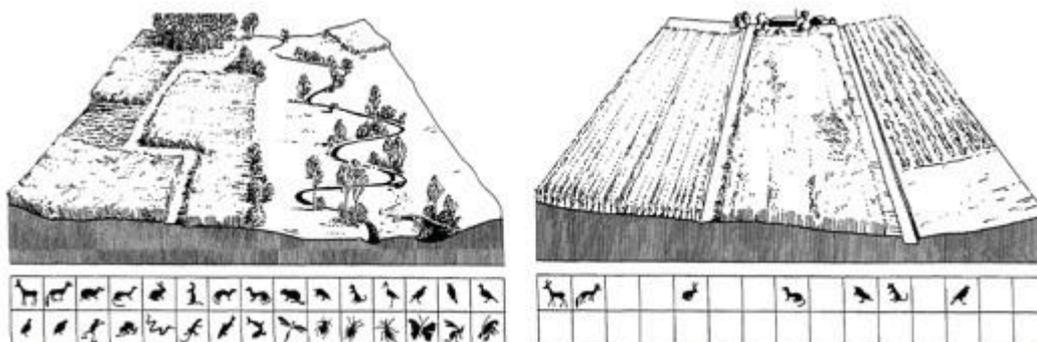
Com a menor infiltração das chuvas no solo, diminuiu-se também o potencial de recarga das águas subterrâneas.

Segundo Binder (2001), com a realização de obras de canalização dos cursos d'água, a relação entre rio e baixada inundável é interrompida, contribuindo, por exemplo, para o desaparecimento de locais para a desova de peixes.

Dessa forma, outra consequência da canalização dos rios refere-se às perdas das características naturais e comprometimento das relações biológicas, afetando fauna e flora. A Figura 2, de Binder (2001), representa o ecossistema de um rio em seu estado natural e o ecossistema de um rio que sofreu retificação. Nota-se que o ecossistema de um rio em seu estado natural, com suas sinuosidades, possui maior variedade de espécies, em relação ao rio que sofreu retificação.

Segundo Binder (2001), a fauna característica do leito depende diretamente de condições naturais, como da renovação contínua dos seixos rolados e da presença de margens íngremes. Em rios regulados não se verifica esta condição, resultando na perda de biodiversidade local.

Figura 2 - Ecossistemas de um rio em seu estado natural e retificado



Fonte: BLINDER (2001).

Além disso, um dos objetivos da canalização dos cursos d'água, que é evitar inundações, não é atendido, como explica o Programa Municipal de Saneamento:

O avanço da urbanização e o conseqüente uso do solo provocaram a redução do armazenamento natural dos deflúvios, os quais se transferiram para outros locais no interior da Cidade, gerando novas ocorrências de inundações, repetidas a cada estação chuvosa e sempre de forma evolutiva. Além disso, devido à predominante alteração do sistema de drenagem, por canalizações e retificações dos cursos de água naturais e ao lançamento de efluentes não tratados, são notórios os estrangulamentos do fluxo, em canais

e galerias, causando transbordamentos e alagamentos das vias da cidade. O aumento das vazões, transferidas de montante para jusante nas bacias, também contribui para a ocorrência de inundações (PROGRAMA MUNICIPAL DE SANEAMENTO).

O Quadro 1, de Costa (2008) aponta os fatores de degradação ambiental dos cursos d'água devido à ação do homem e suas consequências no meio físico, biótico e antrópico. Como principais fatores, está a remoção da mata ciliar que causa consequências como instabilidade das margens, assoreamento e diminuição da biodiversidade. Outrossim, a retificação da seção transversal dos rios, que causa destruição dos ecossistemas, aumento da vazão de pico e da velocidade de escoamento e aumento do risco de inundações à jusante.

Quadro 1 – Fatores de degradação dos cursos d'água e suas consequências.

FATOR DE DEGRADAÇÃO	CONSEQUÊNCIAS (MEIO FÍSICO, BIÓTICO E ANTRÓPICO)
Degradação e/ou remoção da mata ciliar	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilidade das margens causando erosão e assoreamento • Aumento das inundações • Alterações e de equilíbrios climáticos • Diminuição da biodiversidade da região (fauna e flora)
Erosão das margens	<ul style="list-style-type: none"> • Fenômenos de sedimentação e assoreamento preenchendo o volume original dos cursos d'água, contribuindo assim para a ocorrência de enchentes. • Morte da flora e da fauna no fundo dos rios e lagos por soterramento • Turbidez das águas dificultando a ação da luz solar na realização da fotossíntese, importante para a purificação e oxigenação da águas. • Deslocamentos repentinos de grandes massas de terra e rochas que de sabam talude abaixo podem causar grandes tragédias.
Assoreamento da seção transversal	<ul style="list-style-type: none"> • Diminuição da capacidade de escoamento dos condutos, rios e lagos urbanos.
Obstrução ao escoamento	<ul style="list-style-type: none"> • Reduz a capacidade de escoamento • A obstrução causada por construções deixa pouco espaço para a drenagem trazendo riscos para a própria habitação. • A obstrução por aumento de sedimentos e lixo além de contribuir para o mau funcionamento do sistema de drenagem, piora as condições ambientais
Retificação da seção transversal, corte de meandros e canalizações	<ul style="list-style-type: none"> • Destruição dos ecossistemas e eliminação ds áreas naturais de inundação • Aumento da erosão • Aumento do risco de extravasamento das calhas dos rios em consequência da diminuição da retenção natural • Aumento da vazão de pico e da velocidade de escoamento • Degradação do ecossistema fluvial • Aumento do risco de inundações a jusante
Pontes	<ul style="list-style-type: none"> • Geralmente são construídas sem a utilização de critérios de projeto compatíveis com as necessidades de escoamento das enchentes mais frequentes, podendo representar uma ameaça no momento de ocorrência de tais enchentes
Presença de sedimentos e material sólido	<ul style="list-style-type: none"> • Diminuição da qualidade e estética e paisagística • Perda ou diminuição dos habitats naturais (terrestres ou aquáticos) • Contaminação das águas pluviais devido ao transporte de poluentes agregado ao sedimento
Lançamentos de efluentes	<ul style="list-style-type: none"> • Crescimento excessivo de algas • Maus odores • Depósito de lodo
Edificações públicas nas margens	<ul style="list-style-type: none"> • Impermeabilização do solo e consequente aumento na frequência de inundações • Aumento da poluição devido ao esgoto sanitário e o lixo gerado pelos moradores
Edificações privadas nas margens	<ul style="list-style-type: none"> • Degradação das margens (erosão e sedimentação) • Diminuição da seção transversal

Fonte: adaptado de COSTA (2008).

4.1.2 A recuperação de Rios Urbanos

Em vista dos problemas originados pelo descaso com os rios urbanos e a percepção de que a água é um bem finito, têm-se a necessidade de revitalizar os cursos d'água do meio urbano através de projetos ambientais.

Segundo Pereira (2008), nos últimos anos têm sido defendidas estratégias inovadoras de intervenções nos cursos d'água, com a implantação de ações ambientais, de planejamento da ocupação do espaço urbano, de revitalização da fauna e flora dos cursos de água, de forma que os cursos de água fiquem o mais próximo possível do natural.

A partir da década de 80, começou a emergir a ideia de reintroduzir a estrutura e função do corpo d'água no ambiente urbano, visando a conservação e a recuperação de rios e córregos como prioridade para uma série de países, onde diversas ações têm sido propostas discutidas (POMPEU, 2006).

Em vários países é adotada a ideia de reintrodução do rio como elemento vivo na paisagem urbana, recuperando as funções ecológicas, sociais e hidrológicas dos córregos. Tal estratégia tem melhorado tanto a saúde dos córregos como a qualidade de vida dos habitantes das cidades (POMPEU, 2008).

O Quadro 2, de Nascimento (1999), faz uma comparação das ideias higienistas de drenagem consideradas ultrapassadas e dos conceitos inovadores de drenagem. Para Nascimento (1999), os conceitos higienistas abordam a ideia de drenagem rápida das águas pluvias, canalização de cursos d'água e associação do sistema de drenagem ao sistema viário, enquanto os conceitos inovadores de drenagem se baseiam no favorecimento da infiltração, no aumento do percurso de escoamento, no sistema de drenagem associado a áreas verdes e multifuncionais, preocupando-se com a garantia de condições adequadas de saúde pública e conforto no meio urbano.

Quadro 2 – Conceitos higienistas e conceitos inovadores de drenagem

Higienismo	Conceitos Inovadores
Drenagem rápida das águas pluviais, transferência para a jusante.	Favorecimento à infiltração, ao armazenamento e ao aumento de percurso do escoamento.
Redes subterrâneas, canalização de cursos d'água naturais.	Valorização da presença de água na cidade, busca de menor interferência sobre o sistema natural de drenagem.
Associação do sistema de drenagem ao sistema viário.	Soluções técnicas multifuncionais: sistema de drenagem associado a áreas verdes, terrenos de esporte, parques lineares, etc.
Sistema gravitacional, não controlado, configuração fixa de rede.	Sistema de drenagem controlado, possibilidade de alteração na configuração da rede de drenagem em tempo real.
Concepção e dimensionamento do sistema segundo um nível único de risco de inundação;	Concepção e dimensionamento segundo diferentes níveis de risco de inundação, para atender a objetivos diferenciados.
Não analisa o sistema no contexto de eventos de tempo de retorno superiores ao de projeto.	Avaliação da operação do sistema para eventos de tempo de retorno superiores ao de projeto, gestão do risco e inundação.
Objetivos de saúde pública e de conforto no meio urbano; preocupação com impactos da urbanização sobre meios receptores.	Preocupação com a garantia de condições adequadas de saúde pública e conforto no meio urbano e de redução dos impactos da urbanização sobre os meios receptores.

Fonte: Nascimento (1999).

4.1.3 Objetivos da Revitalização dos Rios Urbanos

A revitalização dos rios possui inúmeras funções. Dentre elas, Binder (2001) destaca o objetivo de recuperar os rios e córregos de modo a regenerar o mais próximo possível a biota natural, através de manejo regular ou de programas de renaturalização, preservar as áreas naturais de inundação e impedir quaisquer usos que inviabilizem tal função.

Segundo Costa (2008), a revitalização dos cursos d'água em meio urbano está relacionada com aspectos físicos, bióticos e antrópicos. O Quadro 3, apresenta os objetivos da revitalização ligados aos três diferentes aspectos. Em resumo, tendo em vista a ocorrência de

inundações como um dos fatores representativos da degradação dos rios no meio urbano, a revitalização dos rios busca remediar ou recuperar partes dos processos naturais do ciclo hidrológico que foram impactados em função dos aspectos físicos, bióticos e antrópicos, adotando como conceitos básicos: a permeabilidade máxima das águas de chuva ao longo do curso d'água, a manutenção das propriedades naturais dos leitos (sinuosidades) e as margens com presença de mata ciliar (SANCHES, 2007).

Quadro 3 - Objetivos da Revitalização dos cursos d'água em ambientes urbanos.

Aspectos físicos	Preservar áreas naturais de inundação e impedir quaisquer usos que inviabilizem tal função;
	Ampliação do leito do rio;
	Recuperação da continuidade do curso d'água;
	Reconstituição de figuras morfológicas típicas no leito e nas margens, como depósito de seixo rolado;
Aspectos bióticos	Recuperar os rios e córregos de modo a regenerar o mais próximo possível a biota natural, através do manejo regular e de programas de revitalização;
	Restabelecimento de faixas marginais de proteção e de mata ciliar;
	Promoção de biotas especiais;
Aspectos Antrópicos	Desenvolvimento de uma cultura de preservação do meio ambiente, em busca do equilíbrio ecológico;
	Áreas urbanizadas devidamente drenadas e saneadas;
	Parceria fortalecida entre o poder público e a comunidade, unidos em prol da preservação do meio ambiente;
	Moradores conscientes sobre a importância do rio para a qualidade de vida da população;
	Órgãos públicos buscando soluções de forma integrada;
	Fiscalização eficiente com punição para os infratores do meio ambiente;
	Uso sustentável da área de preservação ambiental;
	Propiciar elementos favoráveis ao lazer

Fonte: adaptado de COSTA (2008).

De acordo com Lezy-Bruno (2007), com a revitalização busca-se uma gestão sustentável da água que visa proteger as pessoas e os bens contra as inundações, combater a poluição, proteger as margens contra a erosão; manter o equilíbrio ecológico do bioma

específico, proteger os ecossistemas aquáticos, valorizar as paisagens do rio e das zonas de inundação e controlar as águas pluviais.

4.1.4 Termos mais utilizados

Renaturalização, revitalização, reabilitação, remediação e restauração são alguns termos que são usados para caracterizar essa abordagem. Alguns autores caracterizam estes termos de diferentes formas.

De acordo com Findlay e Taylor (2006), o termo restauração refere-se ao retorno original e recuperação completa de um ecossistema natural. O termo reabilitação descreve a retomada de alguns elementos do sistema biofísico natural, mas não todos. Já a remediação significa a modificação do ecossistema em uma determinada área e não do retorno ao ecossistema original.

Segundo Clewell (2000), a restauração dos rios não pode ser realizada porque transformações causadas pelos impactos ambientais, como a alteração do ciclo hidrológico, são irreversíveis. Sendo assim, o termo mais apropriado é o de reabilitação.

No Brasil, a definição de reabilitação apresentada por Findlay & Taylor (2006), apresenta como sinônimos os termos renaturalização e revitalização. Sendo assim, para tratar dos cursos d'água urbanos nesta pesquisa optou-se pela utilização do termo revitalização.

Blinder (2001), também aponta que a revitalização não significa a volta a um ambiente original sem interferência humana, mas o processo desenvolvimento sustentável dos rios e da paisagem em conformidade com as necessidades e conhecimentos contemporâneos.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2006) o termo revitalização de cursos de água compreende o “processo de recuperação, conservação e preservação ambiental, por meio da implementação de ações integradas e permanentes, que promovam o uso sustentável dos recursos naturais, a melhoria das condições socioambientais, o aumento da quantidade e a melhoria da qualidade da água para usos múltiplos”.

4.1.5 Considerações para Revitalização de Rios Urbanos

Para que ocorra a revitalização de um rio é preciso um planejamento adequado que busque integrar o uso do solo e da água, visando minimizar os impactos da urbanização sobre ciclo hidrológico natural e sobre as outras funções ecológicas, sociais e paisagísticas dos rios.

Para realizar um projeto de revitalização, Binder (2001) destaca alguns aspectos que devem ser considerados, como o acesso à água, ampliação do leito do rio, recuperação da continuidade do curso d'água, aplicação de técnicas da engenharia ambiental, o restabelecimento de faixas marginais de proteção e da mata ciliar, a reconstituição de estruturas morfológicas típicas no leito e nas margens como depósitos de seixos rolados; a promoção de biotas especiais e o fornecimento de elementos favoráveis ao lazer.

Segundo Miranda (2013), um plano abrangente para a conservação e a recuperação da água da cidade deve:

- explorar a proteção das cheias e a capacidade de recuperação dos alagadiços existentes;
- tratar dos problemas de enchente, poluição da água e abastecimento mais críticos da cidade, principalmente nas áreas mais sujeitas a esses;
- localizar novos parques e áreas verdes nas cabeceiras e nas várzeas nos rios, para preservar a capacidade de armazenamento das águas e para melhorar a recarga dos lençóis freáticos;
- estimular a localização de novas indústrias, áreas para disposição do lixo e outros usos de áreas poluidoras fora das várzeas e das áreas de recarga dos mananciais, que são altamente vulneráveis à poluição das águas;
- localizar novos edifícios públicos fora das áreas sujeitas a inundações;
- explorar a proteção das cheias e a capacidade de recuperação dos alagadiços existentes;
- aumentar a visibilidade da água na cidade, bem como o acesso do público a ela.

Existem algumas restrições de revitalização dos rios, como os custos econômicos - financeiros e sociais, caso haja necessidade de deslocamento da população ribeirinha e de remanejamento de áreas. Contudo, apesar das limitações, principalmente em áreas urbanas onde os rios têm intensos trechos retificados e suas margens densamente ocupadas por edificações irregulares, a recuperação de rios é sempre realizável e possível (BINDER, 2001).

Existem estratégias que podem contornar as limitações da revitalização de rios em áreas urbanas, como a transformação das áreas em parques municipais com locais para contemplação da natureza, para prática de atividades esportivas, entre outros. Dessa forma, a revitalização de rios aumenta não só a capacidade de recuperação ecológica, mas também a atratividade para a recreação e o lazer (BINDER, 2001).

Costa (2002), explica a importância da visibilidade dos rios nas cidades para a população:

Para serem apropriados de outras formas, não simplesmente como depositários de lixo e esgoto, os rios urbanos e todas as suas possibilidades de fruição devem estar visíveis para a população. Novos valores podem ser atribuídos, antigas atitudes podem ser alteradas, e assim a situação dramática em que hoje se encontram talvez possa ser revertida (COSTA, 2002).

4.1.6 Vantagens da Revitalização de Rios

Riley (1998) destaca uma série de vantagens para a recuperação dos cursos d'água, entre elas está:

- redução de danos das inundações;
- redução de danos da erosão nas margens dos cursos de água;
- preservação ou restauração de recursos históricos ou culturais;
- encorajamento de retorno de aves e vida selvagem a refúgios urbanos;
- desenvolvimento de trilhas de pedestres e ciclistas;
- elevação da qualidade de vida urbana e ambientes vizinhos;
- restauração da identidade regional ou local;
- fornecimento de cinturões verdes, espaços abertos e parques;
- criação de oportunidades de navegação e outras recreações aquáticas;
- criação de oportunidades educacionais interessantes para escolas;
- retorno ou melhora da pesca recreacional ou comercial;
- criação de trabalhos significativos e fornecimento de treinamento para trabalhos;
- aumento do valor de propriedades;
- correção os problemas de performance e reverte os danos de grandes e pequenos projetos de engenharia;
- fornecimento de uma fonte segura de alimento para família de pescadores;
- retorno da vida pública e comercial para regiões ribeirinhas urbanas.

Além dos aspectos ambientais e urbanísticos, há uma grande vantagem econômica nos processos de revitalização de rios urbanos. Segundo Filho (2009), os custos de implantação destas medidas são menores se comparados com os transtornos físicos e financeiros gerados pelas enchentes.

Entretanto, não basta apenas planejar medidas de revitalização das margens e das matas ciliares. É necessário agir no sentido de recuperar a qualidade das águas e evitar os despejos ilegais de esgotos não tratados. Este é um dos principais desafios dos governos e sociedade, visto às graves consequências ambientais geradas pela degradação dos recursos hídricos do planeta.

4.1.7 Programas e Projetos relacionados à revitalização

Atualmente, diversos países investem na recuperação de rios urbanos, melhorando sua qualidade ambiental e introduzindo-os na paisagem. O Brasil ainda anda em passos lentos nessa mudança, mas já existem alguns programas e projetos com a proposta de recuperar os rios urbanos. Dentre eles, podemos citar os seguintes programas:

DRENURBS

Segundo a Secretaria Municipal de Belo Horizonte, o DRENURBS é um programa de recuperação ambiental de Belo Horizonte e foi lançado pela Secretaria Municipal de Política Urbana de Belo Horizonte, originado pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana da cidade. O Programa tem como principal proposta priorizar a reintegração dos cursos d'água à paisagem, não colocando a canalização como única solução para a drenagem. Possui uma área de abrangência de 51% da área total do Município, envolvendo 47-sub-bacias.

Segundo o DRENURBS (2011), os principais objetivos do programa são:

- despoluição de 140 quilômetros de cursos d'água, abrangendo 73 córregos e 47 bacias hidrográficas;
- redução dos riscos de inundações;
- controle da produção de sedimentos;
- integração dos recursos hídricos naturais ao cenário urbano;
- fortalecimento institucional da Prefeitura de Belo Horizonte.

Através do deste programa, foi possível a recuperação ambiental do Córrego 1º de Maio,

localizado na rua Joana D'arc, no bairro Minaslândia. O projeto de recuperação baseou-se na construção de um parque linear e incluiu diversas intervenções como: herbanário, pomar, irrigação automatizada, bacia de controle de cheias com espelho d'água, interceptores de esgoto, entre outras (PROGRAMA DRENURBS, 2011).

PROJETO MANUELZÃO – NUVELHAS

O Projeto Manuelzão foi desenvolvido pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) para revitalizar a Bacia do Rio das Velhas, no Estado de Minas Gerais, visando melhorar a saúde pública por meio da melhoria da qualidade da água, tendo como um dos principais parceiros o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas - CBH-Velhas (LISBOA, 2008).

Os idealizadores acreditam que a melhoria da qualidade de vida e saúde da população depende da melhoria da qualidade do rio, atuando ambas de forma integrada. Assim, o Projeto visa lidar com questões de saúde de forma a atacar as causas das doenças em vez de tentar curar os pacientes com base nos sintomas (PROJETO MANUELZÃO, 2015).

Atualmente, o Projeto Manuelzão trabalha com cinco eixos: mobilização social, educação, artes e cultura, comunicação e vem desenvolvendo importantes atividades de pesquisa de diversas áreas como o biomonitoramento, o geoprocessamento e a recuperação de matas ciliares (PROJETO MANUELZÃO, 2015).

O Projeto teve como foco principal a Meta 2010 com objetivo principal de “navegar, pescar e nadar no Rio das Velhas”. A meta se tornou uma política pública do Estado de Minas Gerais, e os recursos obtidos foram utilizados na construção de usinas de tratamento de esgoto, instalação de coletores e interceptores de esgoto, na plantação de vegetação ribeirinha, em estudos de navegabilidade de trechos do rio, em educação ambiental, na mobilização e comunicação social e na criação de áreas de conservação (PROJETO MANUELZÃO, 2015).

PROJETO DE VALORIZAÇÃO DAS NASCENTES URBANAS

O Projeto de Valorização das Nascentes Urbanas é uma proposta do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas e dos Subcomitês dos Ribeirões Arrudas e Onça e é financiado pela cobrança relativa ao uso de recursos hídricos na Bacia do Rio das Velhas.

O objetivo deste projeto é ressaltar a importância de se preservar as características naturais dos cursos d'água em áreas urbanas e o valor do equilíbrio ambiental proporcionado pela água.

O programa visa definir ações prioritárias de identificação e valorização das nascentes localizadas nas bacias dos Ribeirão Arrudas e Onça. Com isso, o projeto tinha como meta cadastrar as nascentes em que houvesse “cuidadores de nascentes”, que são pessoas envolvidas voluntariamente na sua preservação. Posteriormente, mapearam-se as nascentes urbanas e o cadastramento de seus respectivos “cuidadores” (PROJETO DE VALORIZAÇÃO DAS NASCENTES URBANS, 2013).

Dessa forma, as nascentes foram mapeadas e foi elaborado um diagnóstico de suas principais características. Houve também um trabalho de educação ambiental, sensibilização e comunicação junto às comunidades.

4.2 O método wetland construído

Considerando-se que a revitalização dos cursos d’água é a forma mais eficiente de permitir que eles integrem o ambiente, têm-se procurado alternativas que visem recompô-los de forma que haja uma melhora da qualidade de suas águas. Neste trabalho, o método wetland construído foi discutido como uma possível técnica para ser implantada em cursos d’água.

Wetlands ou áreas alagadas são ecossistemas naturais com alta capacidade de alterar a qualidade da água por mecanismos físicos, químicos e biológicos e que ficam cobertos por água a pouca profundidade (LAUTENSCHLAGER, 2001).

No Brasil, estes ambientes são reconhecidos como as várzeas dos rios, os igapós na Amazônia, os banhados, os pântanos, os manguezais entre outros (SALATI, 2011).

As wetlands construídas são sistemas que imitam essas áreas naturais e têm sido empregadas com a finalidade de tratamento de águas residuais domésticas, industriais, agrícolas e de revitalização de córregos. Estes sistemas artificiais possuem diversas denominações distintas, como: jardins filtrantes, zonas de raízes, alagados construídos etc.

A utilização de wetlands construídas tem se intensificado nas últimas décadas em diversos países para recuperação dos recursos hídricos. No Brasil, o sistema de wetlands construídas tem sido utilizado em situações como: tratamento de água para diversas finalidades, para o tratamento secundário e terciário de esgoto urbano, para o abastecimento de água industrial e urbana e para a purificação de grandes volumes de água para enquadramento dos rios na classe 2, a partir de rios atualmente com qualidade classe 3 ou 4. (SALATI, 2011). O enquadramento dos rios é estabelecido em classes de acordo com a resolução do CONAMA 357/2005, no qual a classe 1 possui melhor qualidade e a classe 4

possui menor qualidade, sendo que cada uma possui destinações de uso distintas (CONAMA 357/2005).

Estes sistemas têm mostrado altas capacidades de transformar, reciclar, reter e remover diferentes tipos de poluentes. Segundo Kadlec (1996), estes sistemas apresentam capacidades de remoção de poluentes como demanda bioquímica de oxigênio (DBO), organismos patogênicos, nutrientes, materiais em suspensão, metais pesados e compostos orgânicos tóxicos. Essas capacidades se dão com base em processos naturais que ocorrem nos biofilmes microbianos formados entre a rizosfera e o substrato sólido, como filtração, sedimentação, absorção/adsorção e biodegradação (MONTEIRO, 2009).

A seguir, o Quadro 4 descreve os mecanismos de remoção para cada tipo de contaminantes em wetlands construídas.

Quadro 4 - Mecanismos de remoção dos contaminantes em wetlands construídas

Contaminantes	Processos de remoção
Material orgânico medido como DBO	Degradação biológica, sedimentação, tratamento pelos micróbios.
Contaminantes orgânicos	Adsorção, volatilização, fotossíntese, degradação biótica e abiótica de pesticidas, por exemplo.
Sólidos em suspensão	Sedimentação, filtração.
Nitrogênio	Sedimentação, nitrificação/desnitrificação, tratamento com micróbios, tratamento com plantas, volatilização.
Fósforo	Sedimentação, filtração, adsorção, tratamento de plantas e de micróbios.
Patogênicos	Morte dos patogênicos, sedimentação, filtração, predação, UV degradação, adsorção.
Metais pesados	Sedimentação, adsorção, tratamento com planta.

Fonte: Tomaz (2009).

Para a implantação de um sistema wetland devem ser considerados diversos fatores que influenciam em seu funcionamento. Dentre estes fatores estão os fatores climáticos como temperatura, radiação solar, vento e precipitação.

Segundo Lautenschlager (2001), a temperatura afeta taxas de reações físico-químicas e bioquímicas, raeração, volatilização e evapotranspiração. A radiação solar afeta a taxa de crescimento da vegetação devido à fotossíntese, a precipitação afeta o balanço hídrico das

wetlands e o vento afeta as taxas de evapotranspiração e de trocas gasosas entre a atmosfera e o meio aquático.

Considerando estes fatores climáticos, o Brasil possui boas condições para que ocorra um bom funcionamento de wetlands construídas, já que se trata de um país tropical, com temperaturas e radiação solar elevadas.

Além disso, as características das águas residuais afluentes como a vazão e as concentrações dos contaminantes na água são uma das principais variáveis para a elaboração de um projeto de wetland (LAUTENSCHLAGER, 2001).

Silva (2007) cita diversas vantagens do sistema wetlands, como: custos de construção e operação relativamente baixos, fácil manutenção, tolerância às flutuações no ciclo hidrológico e nas cargas de contaminantes, obtenção de benefícios adicionais como a criação de espaços verdes, de habitats naturais e de áreas recreacionais e função de filtro das raízes eliminando maus odores.

Além disso, sistemas de tratamento tipo wetlands podem ser uma alternativa economicamente viável devido a independência de energia elétrica para o processo e ausência da necessidade de produtos químicos (MONTEIRO, 2009).

A organização Wetlands International (WASH), publicou um caderno destacando os benefícios da implantação de wetlands, que são, além dos já citados, a regularização climática, benefícios na estética da paisagem, a oportunidade de educação ambiental e a possibilidade de atividades recreativas (WASH, 2010).

Como desvantagens podem ser citados problemas com mosquitos, colmatação do leito filtrante, necessidade de caracterização precisa do efluente a tratar, do tipo de enchimento, do ciclo hidrológico e do regime de temperaturas e requerer um período de início até a vegetação estar bem estabelecida (SILVA, 2007).

Segundo Valentim (2003), o sistema wetland tem como principais componentes o meio suporte, que pode ser solo, areia, brita ou outro material, espécies vegetais características de áreas alagadas, além de microrganismos associados a estes elementos e que são os principais responsáveis pela remoção dos contaminantes da água residuária.

Entretanto, wetlands construídas podem ser implementadas por técnicas com diferentes configurações de acordo com as características do efluente a ser tratado e da eficiência de tratamento desejado (MONTEIRO, 2009).

Além disso, segundo Monteiro (2009), independentemente do tipo de configuração é necessária a utilização de sistemas de tratamento preliminar para a retirada de sólidos

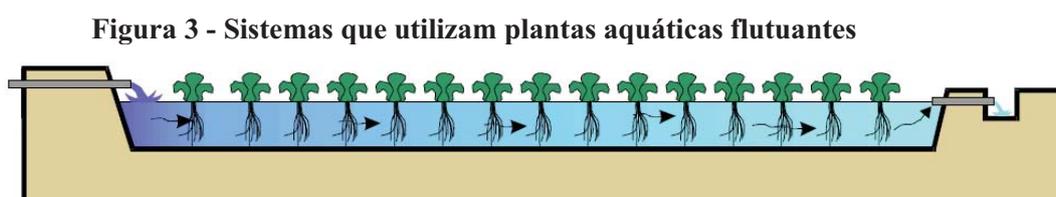
grosseiros, flutuantes e sedimentáveis, protegendo, assim, o sistema contra o processo de colmatção.

4.2.1 Sistemas que utilizam plantas aquáticas flutuantes

Os sistemas de wetlands que utilizam essa técnica são implantados em canais rasos e se utilizam espécies de macrófitas flutuantes. A espécie mais conhecida é o aguapé (*Eichornia crassipes*) e tem alta capacidade de reprodução e alta resistência às águas poluídas.

Segundo Salati (2009), a remoção de contaminantes por essa técnica ocorre devido à adsorção de partículas pelo sistema radicular das plantas, absorção de nutrientes e metais pelas plantas, pela ação de microrganismos associados à rizosfera e pelo transporte de oxigênio pela rizosfera.

A Figura 3 esquematiza um sistema que utiliza plantas aquáticas flutuantes, construídos normalmente em canais longos e estreitos com 0,70 m de profundidade, segundo Salati (2011). Nessa técnica, a água entra por um canal acima da lâmina d'água, tendo o seu fluxo passando pelo sistema radicular das plantas onde ocorre a remoção dos contaminantes e sai do sistema por um canal também acima da lâmina d'água, como se pode observar na Figura 3.



Fonte: Salati (2011).

Essa técnica possui como principais vantagens o baixo custo de implantação, a alta eficiência na melhoria da qualidade da água e a alta produção de biomassa, podendo ser utilizada na produção de ração animal, energia e biofertilizantes. Contudo, deve haver um manejo controlado das larvas de mosquito e das macrófitas para evitar a eutrofização (SALATI, 2011).

4.2.2 Sistemas que utilizam plantas aquáticas emergentes

Nesta técnica são utilizadas espécies de macrófitas que tem o sistema radicular preso ao sedimento e o caule e as folhas ficam parcialmente submersas.

Essas espécies possuem grandes volumes de espaços internos com capacidade de transportar oxigênio para o sistema radicular, podendo o oxigênio sair para a área no entorno da rizosfera e criar condições de oxidação para os sedimentos, decomposição da matéria orgânica e crescimento de bactérias nitrificadoras (SALATI, 2011).

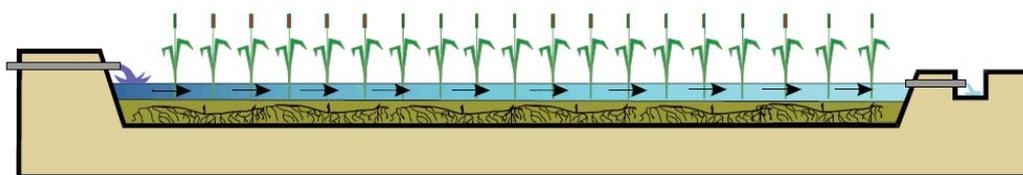
A utilização de wetlands construídas com plantas emergentes pode ocorrer com fluxo superficial, com fluxo horizontal sub-superficial e com fluxo vertical, como detalhado a seguir.

4.2.2.1 Macrófitas emergentes com fluxo superficial

Segundo Salati (2011), em um sistema que utiliza macrófitas emergentes com fluxo superficial, o fluxo da água do sistema é mantido na superfície do solo. São cultivadas no solo plantas como *Phragmites australis*, *Thypha latifolia* ou *Scirpus lacustris*, típicas dos sistemas de wetlands naturais.

A Figura 4 esquematiza um sistema que utiliza macrófitas emergentes com fluxo superficial. Nessa técnica, o tratamento da água ocorre pela ação de microrganismos que ficam fixados na superfície do solo e na parte submersa do caule das plantas. Assim, a água a ser tratada entra e sai do sistema por um canal acima da lâmina d'água e escorre pela superfície do solo cultivado com plantas emergentes (SALATI, 2009).

Figura 4 - Sistemas que utilizam macrófitas emergentes com fluxo superficial



Fonte: Salati (2011).

4.2.2.2 Macrófitas emergentes com fluxo horizontal sub-superficial

Segundo Valentim (2003), a técnica que utiliza macrófitas emergentes com fluxo horizontal sub-superficial, se baseia em filtros lentos horizontais preenchidos com material de enchimento como meio suporte e onde as raízes das plantas se desenvolvem. Em geral são construídos canais estreitos e longos cujas dimensões dependem do projeto em particular.

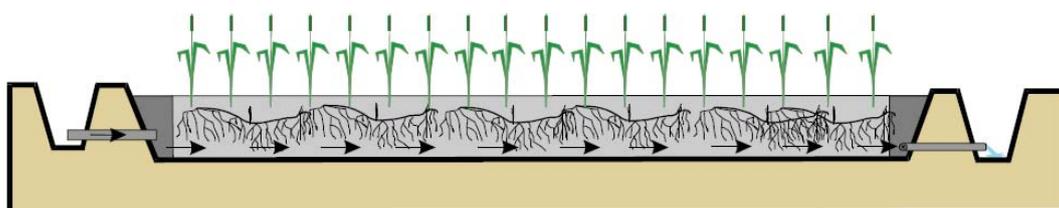
Nesse sistema as plantas fornecem oxigênio para os microrganismos na rizosfera, além de aumentar e estabilizar a condutividade hidráulica. Além disso, as plantas retiram nutrientes e armazenam em seus tecidos (SALATI, 2001).

Para essa técnica, necessita-se de um monitoramento constante, pois pode se formar um fluxo superficial, além de obstruções no sistema, diminuindo a condutividade hidráulica.

Segundo Salati (2001), as experiências obtidas com esse tipo de sistema demonstram boa eficiência na remoção de sólidos suspensos e DBO e, dependendo do projeto e das condições da água a ser purificada, observa-se também boa remoção de nitrogênio e fósforo.

A Figura 5 esquematiza um sistema que utiliza macrófitas emergentes com fluxo horizontal sub-superficial. Nesse sistema, a água a ser tratada é mantida com fluxo horizontal em substrato. Sendo assim, a água entra e sai por um canal sub superficial, não sendo visível na superfície do sistema.

Figura 5 - Sistemas que utilizam Macrófitas emergentes com fluxo horizontal sub-superficial.



Fonte: Salati (2011).

Monteiro (2009) avaliou a viabilidade técnica de sistema tipo wetlands de fluxo sub-superficial horizontal cultivado em policultura no tratamento de água cinza e obteve como resultados: remoção média de matéria orgânica próxima a 60% para os parâmetros DBO, DQO e COT, taxas de remoção de nutriente de 0,07g/m³.d de fósforo total e 0,22g/m³.d de nitrogênio total. Além disso, a remoção média de indicadores de contaminação fecal foi de 56% para coliformes totais e 94% para Escherichia no efluente final.

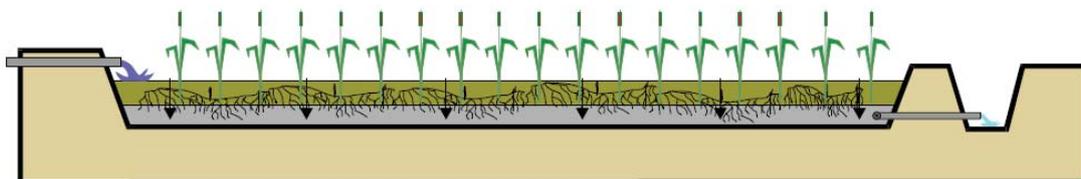
4.2.2.3 Macrófitas emergentes com fluxo vertical

Em um sistema que utiliza macrófitas emergentes com fluxo vertical, a água a ser tratada deve ter um fluxo vertical em uma camada de solos sobre brita, onde são cultivadas plantas emergentes. Nesse sistema, predominam os canais longos e com pouca profundidade (SALATI, 2009).

Segundo SALATI (2009), as informações dos sistemas que utilizam essa tecnologia indicam boa remoção de sólidos suspensos, DBO, Amônia e Fósforo. Além disso, essa técnica pode ser utilizada quando se requer maior condutividade hidráulica e maior oxigenação no sistema radicular. Valentim (2003) sugere que sistemas que utilizam essa técnica requerem uma menor área devido a sua capacidade de fornecimento de oxigênio.

A Figura 6 esquematiza um sistema que utiliza macrófitas emergentes com fluxo vertical. Nele, a água entra por um canal na superfície do sistema e sai por um canal sub superficial, tendo assim, um fluxo vertical.

Figura 6 - Sistemas que utilizam Macrófitas emergentes com fluxo vertical.



Fonte: Salati (2011).

Comparando-se as técnicas, os sistemas de wetlands naturais necessitam de 10 vezes mais área por unidade de volume que em um sistema tipo wetlands horizontais superficiais e este 10 vezes mais área que um sistema tipo wetlands subsuperficiais para a obtenção da mesma qualidade de água em termos de DBO. Sistemas tipo wetlands verticais requerem áreas 5 vezes menor que os horizontais subsuperficiais (VALENTIM, 2003).

4.3 Macrófitas

Macrófitas são vegetais que apresentam adaptações morfológicas e fisiológicas que permitem a sobrevivência e desenvolvimento em ambientes saturados de água, sendo empregadas em sistemas de wetlands construídas.

Entretanto, segundo Monteiro (2009), a escolha da espécie a ser utilizada em um sistema wetland deve ocorrer de forma criteriosa. Caso sejam escolhidas espécies aleatórias, estas não conseguiriam sobreviver ou manter sua taxa de crescimento. Ao entrar em decomposição, estas espécies aleatórias fariam com que nutrientes e material orgânico retornassem ao meio líquido, algo indesejável para o processo de tratamento.

As espécies escolhidas devem apresentar tolerância a ambientes eutrofizados, ter crescimento acelerado, incorporação de nutrientes, valor econômico, utilidade após colheita, manejo facilitado, sobrevivência do sistema radicular com retirada da parte aérea, esteticamente agradável, floração entre outras qualidades (MONTEIRO, 2009).

Segundo Valentim (2003), as macrófitas estão divididas em três categorias, conforme exemplificado no Quadro 5, que já foram testadas para uso de sistemas de wetlands construídas: as plantas flutuantes, que podem estar fixadas ou não ao fundo e sua folhagem principal flutua na superfície da água; as plantas submergentes, que crescem sob a água, estando fixas ou não por raízes; e as plantas emergentes, que possuem folhagem principal em contato com o ar e as suas raízes são fixadas ao solo.

Quadro 5 - Espécies de macrófitas utilizadas em wetlands construídos.

Plantas Emergentes	Plantas Submergentes	Plantas Flutuantes
<u>Scirpus sp.</u>	<u>Elodea nuttallii</u>	<u>Lemma sp.</u>
<u>Phragmites australis</u>	<u>Egeria densa</u>	<u>Sprirodela sp.</u>
<u>Typha sp.</u>	<u>Ceratophyllum demersum</u>	<u>Wolffia arrhiza</u>
<u>Eleocharis sp.</u>		<u>Azolla carolinianna</u>
<u>Juncus sp.</u>		

Fonte: Valentim (2003).

Segundo Valentim (2003), os benefícios das macrófitas em wetlands são diversos, pois absorvem elementos químicos como nitrogênio e fósforo e liberam oxigênio nas proximidades das raízes promovendo, junto com o meio suporte, o tratamento do efluente. Além disso, as macrófitas, associadas ao meio suporte, agem como um biofiltro de odor e são esteticamente agradáveis.

4.4 Material de enchimento

Segundo Monteiro (2009), a escolha do material de enchimento é essencial para a longevidade do sistema, pois apresenta diversas funções como: distribuição uniforme do efluente; condutividade hidráulica; área superficial para crescimento de biofilme; efeito de filtração; armazenamento de fósforo; adsorção de poluentes; sustentação para macrófitas; entre outras.

Na parcela inicial de um sistema de wetlands, onde ocorre a entrada do efluente, é necessário um material de enchimento de maior granulometria para evitar processos de colmatação. O processo de colmatação é o entupimento do material de enchimento pelo acúmulo de sólidos ou pelo crescimento excessivo de biofilme, impedindo a passagem do líquido (MONTEIRO, 2009).

Já a parcela final do sistema pode apresentar um material de enchimento com menor dimensão, uma vez que ocorreu a retirada de material orgânico, reduzindo o problema de crescimento excessivo do biofilme (MONTEIRO, 2009).

4.5 Exemplos de wetlands em rios urbanos

Na literatura, encontram-se diversos exemplos de revitalização de cursos d'água urbanos utilizando-se o método de tratamento wetland, principalmente em países europeus. No Brasil, essa técnica começa a ser notada e aplicada.

Em Belo Horizonte, de acordo com a Prefeitura Municipal, foi aprovado neste ano o projeto de implantação de wetlands para tratar o conjunto dos córregos Água Funda e Bom Jesus, que desaguam na Lagoa da Pampulha.

Na França, um sistema de tratamento por wetlands localizado no Parque “*du Chemin de Lie*” limpam as águas do Rio Sena em um ambiente agradável que é também utilizado como área de lazer, conforme ilustrado na Figura 7, que mostra parte do jardim filtrante que limpa as águas do Rio Sena. O sistema conta com jardins de aproximadamente 4,5 hectares que recebe água poluída do rio e, ao final do percurso, apresenta água límpida com uma concentração três vezes maior de oxigênio na água, ajudando na restauração da vida aquática (JULIETTE, 2013).

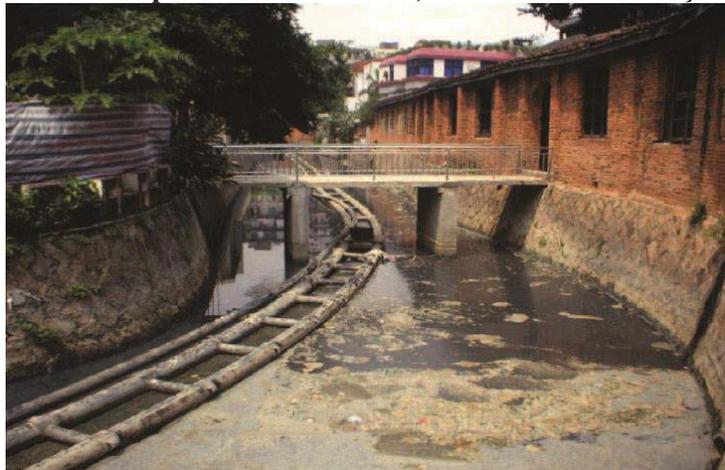
Figura 7 - Sistema de wetland no Parque “du Chemin de Lie” em Nanterre, França.



Fonte: Juliette (2013).

Em Fuzhou, na China, adotou-se uma solução para revitalizar e limpar os canais cheios de lixo e esgoto da bacia hidrográfica do Min River. As Figura 8 e Figura 9 mostram o canal antes da revitalização e depois de revitalizado, respectivamente.

Figura 8 - Canal poluído em Fuzhou, antes da revitalização



Fonte: Urban Municipal Canal Restorer Fuzhou, China (2015).

Figura 9 - Canal revitalizado em Fuzhou



Fonte: Urban Municipal Canal Restorer Fuzhou, China (2015).

Nesta revitalização, foram instalados Living machines ao longo de 600 m do canal de Baima, que recebia esgotos de 12.000 pessoas, resultando em uma bela estrutura e um jardim funcional que custou 1/8 do orçamento de um tratamento convencional de esgotos (YAMAMOTO, 2012). Nota-se pelas figuras, a diferença das paisagens antes e depois da revitalização, resultando em um cenário que além de mais funcional, também é muito mais agradável visualmente.

5 METODOLOGIA

O presente trabalho abordou a aplicação de wetland voltada para a melhoria da qualidade das águas pluviais urbanas, pois este método é adequado à proposta de revitalização de um córrego.

Segundo Tomaz (2009), para a melhoria da qualidade das águas pluviais urbanas, é utilizado o sistema com macrófitas emergentes com fluxo superficial, no qual o fluxo da água a ser tratada fica visível. Existem quatro tipos básicos de wetland de superfície livre para a melhoria da qualidade das águas pluviais:

- Wetland rasa: as wetlands rasas podem ter profundidades que variam de 0 a 0,15m e de 0,15m a 0,45m. Necessitam de área de bacia maior que 10ha, pois é necessário aumentar o tempo de detenção e de contato.
- Wetland com detenção estendida ED: possuem além da parte rasa e média uma parte profunda e possibilitam que o nível da água seja aumentado de maneira que em 24h volte ao nível normal. Isto provocará uma área inundável e que depois ficará seca. Portanto, possui acumulação temporária das águas. A área mínima da bacia deve ser de 10 ha.
- Wetland funda: possui além das partes rasas e médias, uma parte funda com objetivo de requerer menos espaço que a wetland rasa. Necessita de área da bacia maior que 10ha.
- Mini-wetland: são para bacias maiores que 4 ha e menores que 10 ha.

As wetlands construídas podem ser *off-line*, caso seja previsto um desvio de água de excesso que vai para o curso de água mais próximo, ou *in-line*, caso não haja desvio da água. Segundo Tomaz (2009), quando uma wetland é *in-line*, usa-se todo o escoamento superficial (Q m³/ano), mas quando é *off-line*, usa-se como escoamento superficial o valor de Q multiplicado por 0,90, não devendo ser esquecidos os picos de vazão.

No caso da wetland construída ser *off-line*, é necessário a instalação de um regulador de fluxo, que divide o volume de pico de vazão de uma bacia em duas partes: uma destinada ao volume WQ_v (volume para melhoria da qualidade das águas pluviais) e outra desviada e encaminhada ao rio mais próximo.

Kadlec e Wallace (2009), baseando-se em pesquisas entre 20 wetlands construídas para melhoria das águas pluviais para áreas urbanas, obtiveram eficiência de remoção de 68%

para sólidos totais em suspensão, 41% de eficiência de remoção de fósforo total e 30% de eficiência de remoção de nitrogênio total, como mostra o Quadro 6.

Quadro 6 – Redução de poluentes em wetlands construídas para melhoria da qualidade das águas pluviais.

Poluentes	%
TSS (Sólidos totais em suspensão)	68
TP (Fósforo Total)	41
TN(Nitrogênio total)	30

Fonte: Kadlec e Wallace (2009).

No que se refere a metais como cádmio, cobre, chumbo, níquel e zinco, Kadlec e Wallace (2009) obteve as seguintes eficiências de remoção em wetlands existentes em áreas urbanas, como mostra o Quadro 7, que variam de 39 a 74%.

Quadro 7 - Redução de metais em áreas urbanas em wetlands construídas para melhoria da qualidade das águas pluviais.

Metais	%
Cd	71
Cu	49
Pb	74
Ni	39
Zn	60

Fonte: Kadlec e Wallace (2009).

5.1 Dimensionamento por área da bacia

De acordo com Kadlec e Wallace (2009), a área de uma wetland construída varia de 1% a 5% da área total da bacia e quanto maior a área da superfície da wetland, melhor será a capacidade de remoção.

Segundo Schueler (1987 apud Tomaz, 2009) para o dimensionamento da área necessária para esse tipo de sistemas, calcula-se o volume para a melhoria da qualidade das águas pluviais pelas Equações 1 e 2:

$$WQv = \left(\frac{P}{1000} \right) \times Rv \times A \quad (1)$$

$$Rv = 0,05 + 0,009 \times AI \quad (2)$$

Sendo:

WQv= volume para melhoria da qualidade das águas pluviais (m³)

P=first flush (mm)

Rv= coeficiente volumétrico (adimensional)

AI= área impermeável (%)

A= área da bacia (m²)

Segundo Baptista, Nascimento e Barraud (2005), o termo *first flush*, ou carga de lavagem, refere-se à hipótese de que os escoamentos de origem pluvial seriam muito mais poluídos no início do evento. Isso ocorre devido à lavagem da atmosfera no início da precipitação e ao transporte de poluentes acumulados na superfície.

Sendo assim, a primeira parte da precipitação efetiva geralmente carrega a maior parte dos poluentes em uma precipitação. Em certos estudos, os primeiros 25 mm de chuva possuem cerca de 90% de toda a carga de poluição difusa no escoamento superficial, entretanto, a avaliação do first flush deve ser feita em particular para cada bacia.

Segundo Ledd (1987 apud Tomaz, 2009), podem-se admitir os seguintes valores para o first flush de acordo com a umidade da área:

P=25mm para regiões úmidas;

P= 19mm para regiões do semi-árido;

P=13mm para regiões áridas.

5.2 Critérios de projeto

De acordo com Tomaz (2009), existem alguns critérios de projeto para a implantação de wetlands construídas. Dentre eles, são: a profundidade máxima deve ser de 1,50m; a forma deve ser a mais irregular possível maximizando a distância entre a entrada e a saída das águas pluviais; no início do sistema tem que haver um pré-tratamento e no final um reservatório pequeno com 0,90m a 1,80m de profundidade para facilitar a saída das águas pluviais e não haver entupimento; a velocidade da água deve ser menor que 0,03m/s e deverá haver uma faixa gramada beirando a wetland.

Deve-se calcular a vazão de pico para classificar os riscos da barragem que será feita e prever o volume no reservatório para se prevenir contra enchentes de período de retorno de 25 ou 10 anos. Além disso, é muito importante assegurar que as vegetações que estarão na

wetland tenham água para a sua sobrevivência nos intervalos das chuvas. Para isso, deve ser verificado se existe ou não vazão base contínua e o nível da água na lagoa.

Tomaz (2009) ressalta a importância de haver um pré-tratamento no início da wetland para o bom funcionamento do sistema. Este pré-tratamento deve ser por gradeamento, visando reter os sólidos grosseiros e consome de 10% a 15% do volume para melhoria da qualidade das águas pluviais WQv, sendo o mais usual usar $0,10WQv$.

Conforme Wetland Solutions (2006), uma wetland construída possui uma média de deposição de sedimentos de 5,6 mm/ano, sendo perceptível apenas depois de muitos anos. O prazo estabelecido e sugerido para a retirada dos sedimentos é de 20 anos. Entretanto, no pré-tratamento é onde ocorre a maioria da deposição dos sedimentos, devendo ser feita a retirada do material a cada 10 anos ou quando cerca de 50% do pré-tratamento estiver ocupado pelos sedimentos.

Conforme Kadlec e Wallace (2009), a densidade das plantas ideal para uma wetland construída para melhoria das águas pluviais varia de 1 planta/m² a 4 plantas/m² e é de grande importância que as wetlands sejam monitoradas para acompanhar o seu funcionamento.

6 ESTUDO DE CASO

6.1 Caracterização do Córrego do Acaba Mundo

O Córrego Acaba Mundo, localizado em Belo Horizonte, faz parte da Sub-bacia da Bacia do Ribeirão Arrudas, que é uma sub-bacia da Bacia do Ribeirão das Velhas. A bacia do Córrego do Acaba Mundo possui aproximadamente 5 km de extensão com trechos em leito natural, trechos em canal aberto e trechos em canal fechado, sendo que este último tipo predomina ao longo da bacia. O seu curso segue pelas Avenidas Uruguai e Nossa Senhora do Carmo, Ruas Outono, Grão Mogol e Professor Moraes e pela Avenida Afonso Pena, indo desaguar no ribeirão Arrudas na altura do Parque Municipal. Portanto, atravessam Belo Horizonte passando ao longo dos bairros Anchieta, Belvedere, Carmo, Centro, Cruzeiro, Funcionários, Lourdes, Mangabeiras, Morro do Papagaio, Região da Nossa senhora da Boa Viagem, Região da Savassi, Santa Efigênia, São Pedro e Sion.

Segundo o Programa de valorização das nascentes urbanas (2013), citado anteriormente, realizado pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, existem dez nascentes cadastradas do Córrego Acaba Mundo, com seus devidos cuidadores e seus endereços, que são especificados no Quadro 8 a seguir.

Quadro 8 - Nascentes cadastradas na Sub-Bacia do Córrego do Acaba Mundo e seus cuidadores.

Nascentes cadastradas na Sub-bacia		
Código	Cuidador (a)	Endereço
AR018	Generosa Costa da Silva	Beco da Mina, 212 - Vila Acaba Mundo / Belo Horizonte
AR019	Ronaldo Nunes Ramos	R. Desengano, 154 - Vila Acaba Mundo / Belo Horizonte
AR020	Paulo Correa Araújo	R. Engenheiro C. Lopes, 68 / Belo Horizonte
AR021	Gustavo Carvalho	Morro do Carrapato / Belo Horizonte
AR022	Kleiber Luis da Silva	R. Desengano, 154 - Vila Acaba Mundo / Belo Horizonte
AR023	Maria da Conceição Araújo	R. Engenheiro C. Lopes, 68 - Vila Acaba Mundo / BH
AR024 e AR025	Guilherme Rogério G. de Souza	Rua Carvalhos, 150 - Vila Acaba Mundo / Belo Horizonte
AR026	Írani Martins R. dos Santos	R. dos Carvalhos, 155 - Vila Acaba Mundo / Belo Horizonte
AR027	Ednan Rodrigues de Oliveira	Rua Carvalhos, 203 - Vila Acaba Mundo / Belo Horizonte

Fonte: Programa de Valorização das nascentes urbanas (2013).

A Figura 10, representa o mapa da Bacia do Córrego do Acaba Mundo com suas dez nascentes, localizadas nas vertentes da Serra do Curral, mais precisamente no local explorado pela Mineração Lagoa Seca, onde atualmente encontra-se a Vila Acaba Mundo. Segundo a

Prefeitura de Belo Horizonte, o início da ocupação da Vila Acaba Mundo ocorreu em meados das décadas de 40 e 50 pelos trabalhadores da Mineradora Lagoa Seca.

Figura 10 - Mapa da Sub-Bacia do Córrego do Acaba Mundo e suas nascentes.



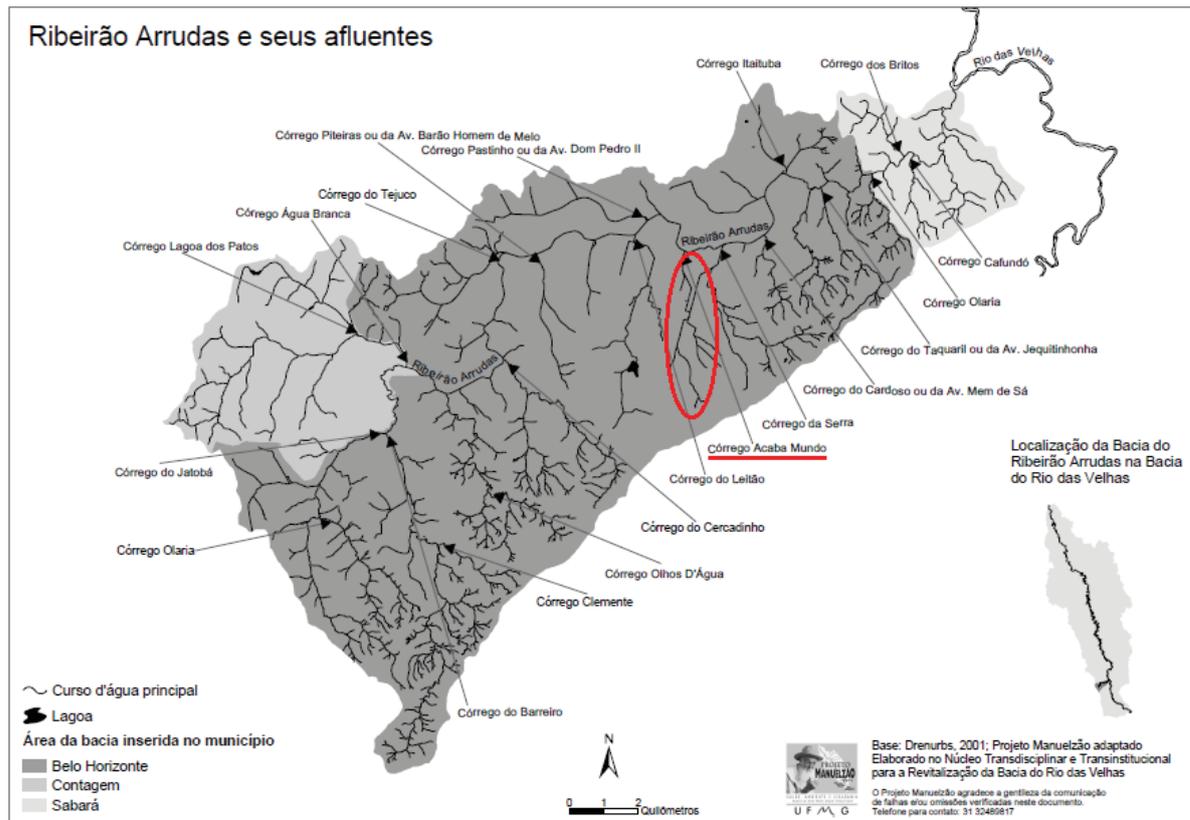
Fonte: AGB Peixe Vivo (2015).

O Córrego do Acaba Mundo corre cerca de 1500 metros em canal aberto desde a sua nascente até o início do canal fechado e possui como afluentes os Córregos Ilha e Gentio, canalizados atualmente sob as Avenidas Nossa Senhora do Carmo e Vitório Marçola (BORSAGLI, 2011).

Segundo Silva (2009), a bacia do Acaba Mundo possui uma proporção de impermeabilização de 92,17%. Além disso, apenas 13,87% do curso d'água encontra-se em leito natural e 5,19% com vegetação.

A Figura 11, mapeia o Ribeirão Arrudas e seus afluentes, inclusive o Córrego do Acaba Mundo, destacado pela elipse em vermelho.

Figura 11 - Ribeirão Arrudas e seus afluentes.



Fonte: Projeto Manuelzão (2015).

6.2 Área de estudo

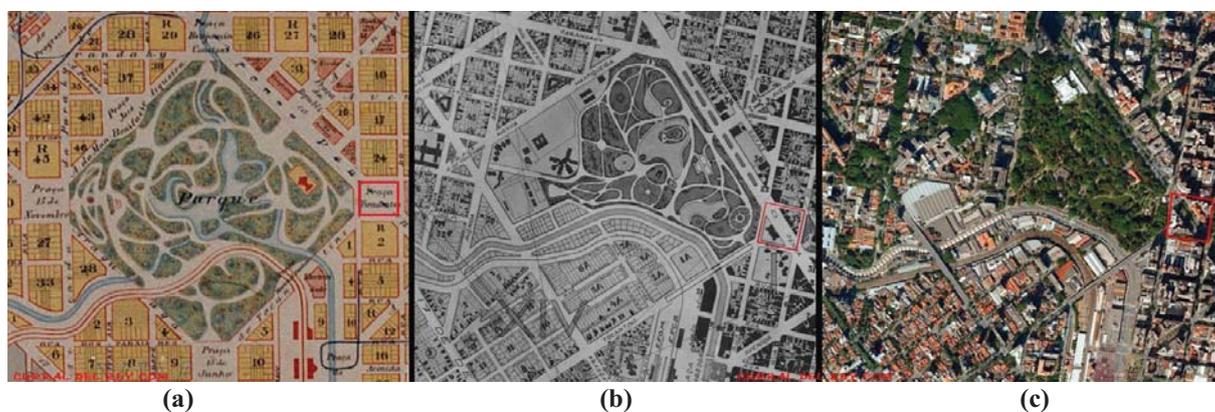
O trecho do córrego que faz parte do estudo inicialmente está localizado dentro do Parque Municipal Américo Renné Giannetti, pouco antes de desaguar no Ribeirão Arrudas, e encontra-se em canal fechado, escondido entre os cimentos.

O Parque Municipal situa-se na porção central de Belo Horizonte, à margem direita do ribeirão Arrudas. São vias urbanas limitantes da área do Parque a Avenida Assis Chateaubriand (piso inferior ao viaduto Santa Teresa), começando na esquina da Avenida dos Andradas, a rua da Bahia, a Avenida Afonso Pena, a Avenida Carandaí e a Alameda Ezequiel Dias. No interior dos terrenos originais do Parque situam-se atualmente o colégio IMACO, o Palácio das Artes e o teatro Francisco Nunes. No lado oposto ao Parque em relação à Avenida Afonso Pena situa-se a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte; do lado oposto em relação à Alameda Ezequiel Dias situam-se instituições integrantes da maior concentração hospitalar da cidade e, próximo ao parque, na margem esquerda do Arrudas, situa-se a estação ferroviária Central de Belo Horizonte.

Segundo a Prefeitura de Belo Horizonte (2015), o Parque Municipal foi projetado no final do século XIX pelo arquiteto e paisagista francês Paul Villon, sendo o patrimônio ambiental mais antigo de Belo Horizonte. O Parque abriga árvores centenárias, espécies nativas e exóticas, além de ser considerado um importante refúgio para a fauna.

Vale ressaltar que, quando foi inaugurado, o Parque possuía 555 mil m², como pode ser visto na Figura 12 (a). Entretanto, em 1905, iniciou-se o processo de ocupação urbana na área destinado ao parque e atualmente, de sua área original restam apenas 182 mil m², como mostra a Figura 12 (c).

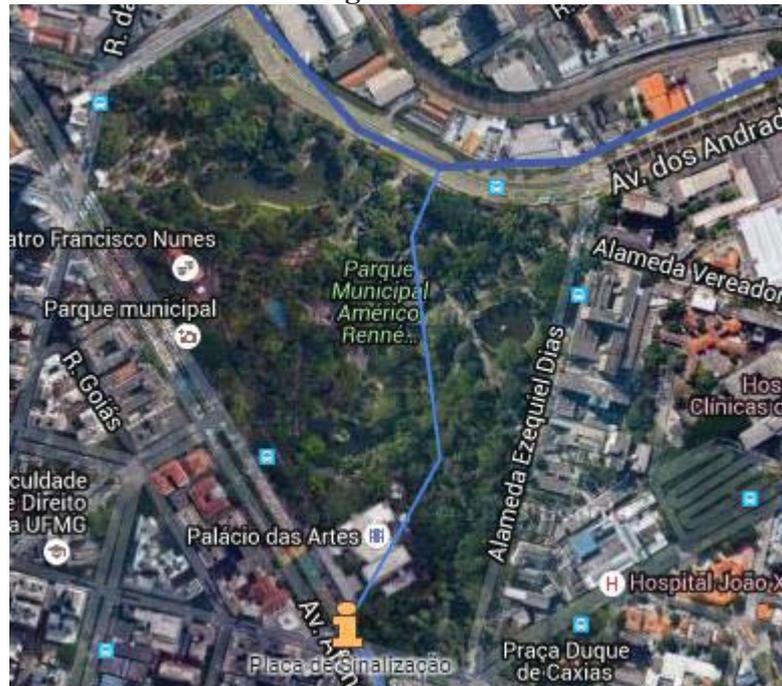
Figura 12 - Parque Municipal de Belo Horizonte em 1895 (a), 1928 (b) e atualmente (c)



Fonte: Curral del Rei - <http://curraldelrei.blogspot.com.br/>

A Figura 13 mostra o mapa da localização do Córrego do Acaba Mundo em maiores detalhes no trecho do Parque Municipal Américo Renné Giannetti, da forma como se encontra atualmente.

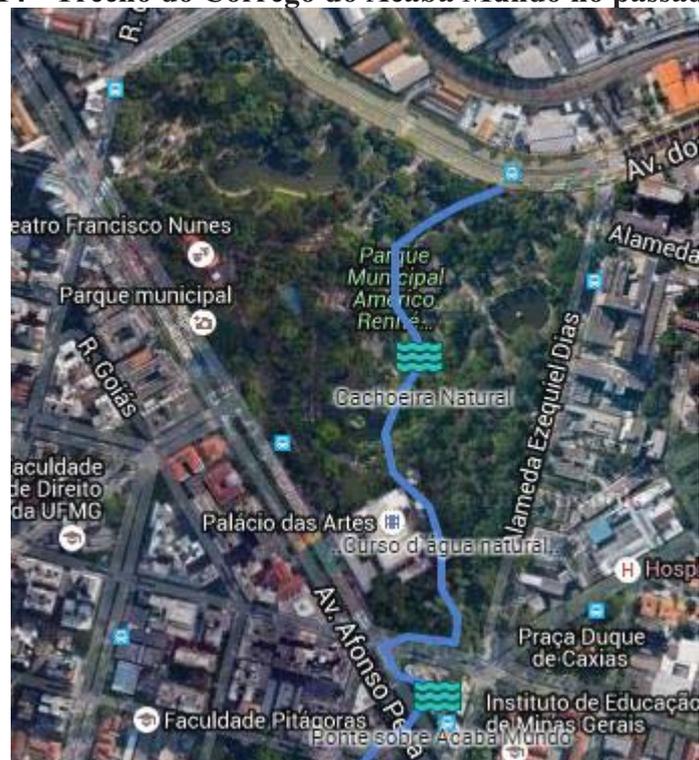
Figura 13 - Trecho do Córrego do Acaba Mundo atualmente



Fonte: Projeto “Rios Invisíveis” (2015).

A Figura 14 mostra o mapa da localização do Córrego do Acaba Mundo no trecho do Parque Municipal Américo Renné Giannetti, da forma como se encontrava no passado. Nota-se que o curso d’água era mais sinuoso e ainda havia uma cachoeira natural dentro do Parque.

Figura 14 - Trecho do Córrego do Acaba Mundo no passado



Fonte: Projeto “Rios Invisíveis” (2015).

6.3 Histórico do Córrego do Acaba Mundo

A riqueza de recursos hídricos e o clima ameno que a região de Belo Horizonte possuía, foi um dos motivos que fizeram com que tornasse sede de Minas Gerais, a partir de 1897.

Entretanto, segundo Borsagli e Medeiros (2011), a Comissão Construtora da Nova Capital de Minas - CCNC, nos estudos para o uso dos mananciais disponíveis na região, ignorou o Córrego do Acaba Mundo do projeto da nova capital de Minas Gerais, pois registrava nos períodos de seca uma vazão muito baixa. O Córrego do Acaba Mundo atravessava uma parte do antigo arraial do Curral Del Rey e dividia o arraial na altura do antigo Largo da Boa Viagem, indo desaguar no Ribeirão Arrudas na altura do Parque Municipal.

Na década de 20 o desenvolvimento urbano aumentou e o Poder Público passou a priorizar obras de retificação e canalização dos córregos inseridos na zona urbana. Essas medidas visavam a abertura de vias e ocupação dos quarteirões. Além disso, com a canalização dos córregos pretendia-se tentar resolver problemas de enchentes que ocorriam com frequência. Acreditava-se, naquela época, que a canalização era solução para o problema de enchentes. Entretanto, como visto anteriormente, esta medida não resolve o problema (BORSAGLI e MEDEIROS, 2011).

Em 1925, iniciou-se a retificação e a canalização aberta do Córrego do Acaba Mundo entre a Avenida do Contorno e o Parque Municipal. Segundo Borsagli e Medeiros (2011), as suas águas foram desviadas para um novo canal construído na Rua Professor Moraes e Avenida Afonso Pena e continuaram a alimentar os lagos do Parque Municipal.

A população em Belo Horizonte foi aumentando cada vez mais e não havia estrutura adequada para o seu desenvolvimento. Sem Sistemas de Tratamento de Esgoto adequado, o Córrego do Acaba Mundo começou a receber esgoto e lixo domésticos. Além disso, as enchentes eram frequentes na região devido à impermeabilização do solo causada pela urbanização nas bacias dos cursos d'água.

Diante disso, em 1963, o Poder Público toma a decisão de fechar o Córrego do Acaba Mundo ao longo da Rua Professor Moraes e Avenida Afonso Pena até a altura do Parque Municipal. Devido ao alto grau de poluição dos Lagos do Parque, estes deixaram de ser abastecidos pelo Acaba Mundo e passaram a receber água subterrânea para se abastecerem (BORSAGLI e MEDEIROS, 2011).

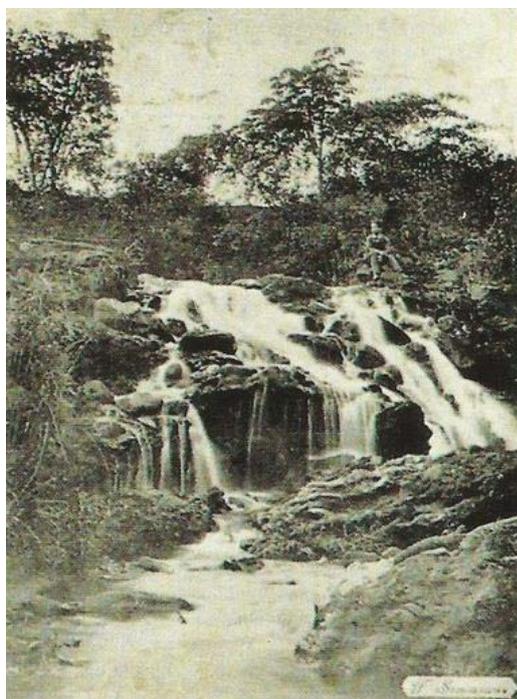
A canalização tinha como objetivos resolver o problema de enchentes, dar espaço a vias de transporte e embelezar a paisagem da cidade. Ao invés de considerar a possibilidade de tratar o Córrego, o Poder Público preferiu escondê-lo. Contudo, a canalização não resolveu o problema das enchentes, levando a realização de mais uma obra de intervenção, tendo o curso do Córrego do Acaba Mundo ramificado em três braços para melhorar o escoamento das águas.

Nota-se, portanto, que o planejamento da cidade de Belo Horizonte se deu ignorando-se o Córrego do Acaba Mundo e sua importância ambiental e cultural, dando lugar às ruas que priorizam os veículos automotores.

A Figura 15 mostra a Cachoeira Natural do Córrego Acaba Mundo que existiu no Parque Municipal, paisagem que foi destruída e dificilmente será recuperada.

A Figura 16, mostra o Córrego do Acaba Mundo antes de sua canalização, na rua Bernardo Guimarães. Nota-se que se iniciava o processo de urbanização, mas ainda existia resquícios de mata ciliar no local.

Figura 15 - Cachoeira natural do Córrego do Acaba Mundo que existiu no Parque Municipal.



Fonte: Arquivo Público Mineiro - <http://www.siaapm.cultura.mg.gov.br>

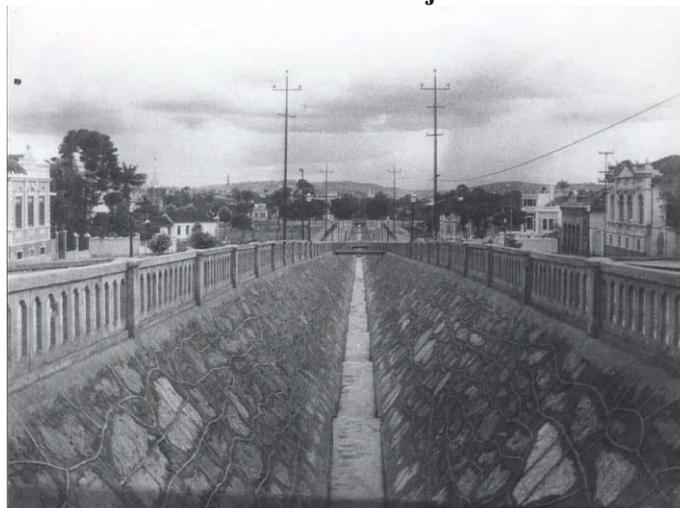
Figura 16 - Córrego do Acaba Mundo antes da sua canalização na Rua Bernardo Guimarães.



Fonte.: Arquivo Público Mineiro - <http://www.siaapm.cultura.mg.gov.br>

A Figura 17, ilustra o Córrego Acaba Mundo canalizado em trecho próximo a Igreja de Nossa Senhora da Boa Viajem, em que já não se observa presença de mata ciliar.

Figura 17 - Córrego do Acaba Mundo canalizado em trecho próximo a Igreja de Nossa Senhora da Boa Viajem.



Fonte: Arquivo Público Mineiro - <http://www.siaapm.cultura.mg.gov.br>

Atualmente, torna-se impossível reconhecer o Córrego do Acaba Mundo, escondido embaixo das ruas de Belo Horizonte. Contudo, o Projeto “Rios Invisíveis”, desenvolvido como Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFMG visa discutir o papel dos cursos d’água urbanos através de sinalizações em formato de placas que revelam a existência do Córrego e suas características. Através dessas sinalizações é possível saber em qual local o Córrego do Acaba Mundo passa, mesmo não sendo visível (PROJETO RIOS INVISÍVEIS, 2015).

A seguir, a Figura 18 mostra uma placa do Projeto “Rios Invisíveis” sinalizando a

existência do Córrego Acaba Mundo na Praça JK.

Figura 18 - Sinalização do Córrego do Acaba Mundo na Praça JK.



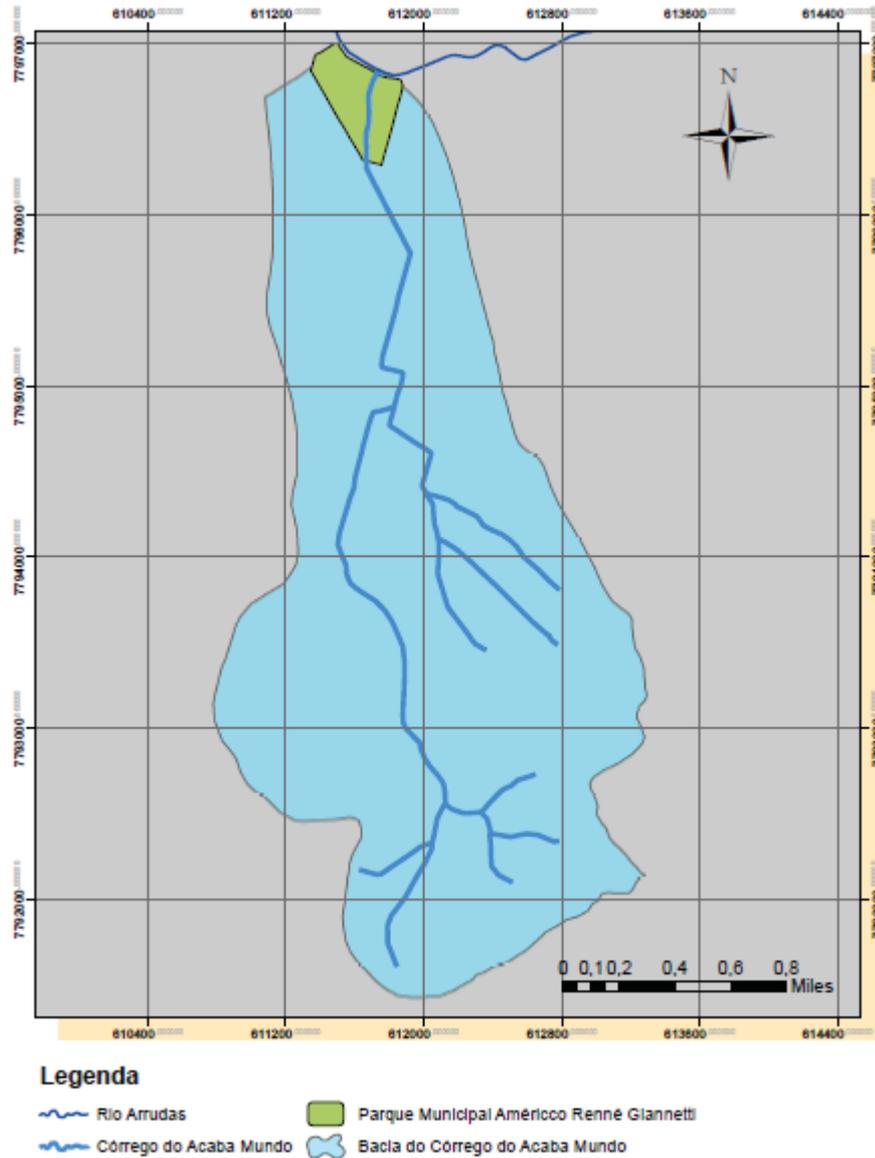
Fonte: Projeto Rios Invisíveis - <http://riosinvisiveis.wix.com/riosinvisiveis#!sinalizando/cbye>

6.4 Área de drenagem

A área de drenagem a Bacia do Córrego Acaba Mundo foi calculada utilizando-se ferramentas do programa ArcGis, obtendo-se assim a área de drenagem total de 8,12 km².

A Figura 19 mostra o mapa obtido na determinação da área de drenagem da bacia, no qual pode se observar o Córrego do Acaba Mundo e sua bacia de drenagem, além da área do Parque Municipal Américco Renné Giannetti.

Figura 19 - Bacia do Córrego Acaba Mundo



Fonte: CAMARGOS, L. M. (2015).

6.5 Sistema wetland no Córrego Acaba Mundo

Com o intuito de aplicar um sistema que vise a revitalização do Córrego do Acaba Mundo, elaborou-se uma proposta de implantação de um sistema de wetland construída para o tratamento do córrego.

O sistema em questão trata-se de uma ETAF (Estação de Tratamento de Águas Fluvias), mas que, supostamente, também recebe esgoto doméstico de ligações clandestinas que são despejadas no córrego.

Dessa forma, levando em conta os estudos bibliográficos de wetlands e que a bacia possui uma área de drenagem maior que 10 ha, propõe-se a implantação do Sistema wetland funda superficial com plantas emergentes para melhoria da qualidade das águas da sub-bacia do Córrego do Acaba Mundo.

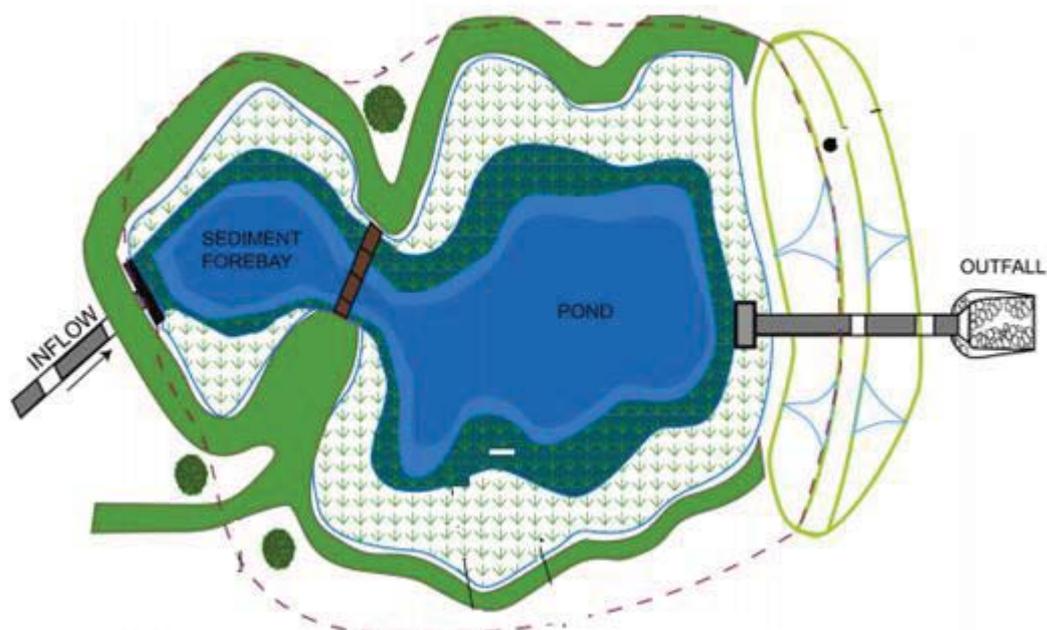
O sistema em questão deve obedecer aos critérios de projeto especificados na literatura, utilizando-se um pré-tratamento por gradeamento para reter os sólidos grosseiros e lixo, sendo retidos antes de serem lançados na wetland, evitando assim, o entupimento do sistema. Deve haver no final um reservatório para facilitar a saída das águas pluviais e não haver entupimento.

Sugere-se que a wetland seja do tipo *off-line*, para desviar a água de excesso para o córrego. Dessa forma, é necessária a instalação de um regulador de fluxo, responsável por separar o fluxo destinado à wetland e o outro fluxo destinado ao córrego. Para que o tratamento ocupe uma menor área possível, sugere-se que tenha a altura máxima indicada por Tomaz (2009) de 1,5 m.

A forma da wetland deve ser a mais irregular possível maximizando a distância entre a entrada e a saída das águas pluviais e deve haver um monitoramento constante para acompanhar o seu funcionamento, corrigido alguma erosão e o crescimento de vegetação indesejável. A limpeza do tanque de tratamento preliminar deve ser feita a cada 10 anos ou quando o sedimento ocupar 50% da área e a retirada dos sedimentos depositados na wetland deverá ocorrer a cada 20 anos, conforme literatura.

A Figura 20 representa a planta esquemática de uma wetland construída, na qual pode se observar o canal de entrada da água (*inflow*), levando-a até o local de pré-tratamento (*sediment forebay*). Nele são removidos os sólidos grosseiros e posteriormente, a água vai para o sistema wetland (*pond*) onde se encontram as macrófitas emergentes e ocorre o processo de tratamento. Por último, a água passa por um canal de saída (*outfall*), onde retorna ao seu fluxo natural.

Figura 20 - Planta esquemática de uma wetland construída desde o pré-tratamento até o final



Fonte: New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual (2014).

6.6 Macrófitas

Segundo a EMBRAPA (2013), as plantas escolhidas devem ser preferencialmente nativas da região onde o sistema está instalado e que produzam flores para que o ambiente seja visualmente agradável.

Dessa forma, nesta proposta de wetlands construídos, sugere-se a utilização de espécies de plantas já existentes no Parque Municipal Américo Renné Giannetti. Buscou-se, então, as espécies catalogadas no Plano Diretor do Parque e concluiu-se que dentre as plantas emergentes que se encontram no Parque e já foram utilizadas em sistemas de wetlands construídos, está a espécie *Juncus sp.* A *Juncus sp.*, escolhida para a implantação do sistema proposto é uma planta pertencente da família *Juncaceae* e da classe *Liliopsida*, semelhante às gramíneas, como pode ser visto na Figura 21.

Figura 21 – Juncus sp.



Fonte: Monteiro (2009).

As macrófitas devem ser plantadas obedecendo ao critério de 1 a 4 mudas a cada m², conforme literatura. Além disso, deve ser feito o manejo adequado das plantas para evitar que se reproduzam desenfreadamente e saturem o sistema.

6.7 Dimensionamento

Para o dimensionamento do sistema de wetlands, de acordo com os critérios de projeto pré-especificados, aplicou-se as Equações 1 e 2 dadas por Schueler (1987 apud Tomaz, 2009):

$$WQv = \left(\frac{P}{1000} \right) \times Rv \times A \quad (1)$$

$$Rv = 0,05 + 0,009 \times AI \quad (2)$$

Sendo:

WQv= volume para melhoria da qualidade das águas pluviais (m³)

P=first flush (mm)

Rv= coeficiente volumétrico (adimensional)

AI= área impermeável (%)

A= área da bacia (m²)

Admitindo-se $P=25$ mm, para áreas úmidas, como determinado por Leed (1987 apud Tomaz, 2009), tendo a área da bacia calculada em $8,12 \text{ km}^2$, e sabendo que a área impermeável (AI) é de $92,17\%$, de acordo com SILVA (2009), obtêm-se:

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times 92,17 \quad (2)$$

$$R_v = 0,8795$$

$$WQ_v = \left(\frac{25}{1000} \right) \times 0,8795 \times 8120000 \quad (1)$$

$$WQ_v = 178.538,5 \text{ m}^3$$

Adotou-se a profundidade máxima indicada de $1,5 \text{ m}$, conforme Tomaz (2009), para que o tratamento ocupe uma menor área possível. Sabendo que o volume é igual a área vezes a altura e substituindo-se os valores na Equação 3, obtêm-se:

$$WQ_v = h \times A_s \quad (3)$$

$$178.538,5 = 1,5 \times A_s$$

$$A_s = 119.025,6 \text{ m}^2$$

Adotando-se a relação de comprimento/largura indicada por Tomaz (2009) em $1:2$, e substituindo-se na Equação 4, tem-se:

$$A_s = L \times 2L \quad (4)$$

$$119.025,6 = 2L^2$$

$$L = 243,9$$

Sendo assim, o sistema proposto deverá ter uma largura de $243,9 \text{ m}$ e um comprimento de $487,9 \text{ m}$. Contudo, cabe ressaltar que as medidas calculadas de largura e comprimento são aproximadas, já que se trata de uma wetland com formato irregular/sinuoso, como citado anteriormente.

O pré-tratamento deverá consumir 10% do volume para melhoria da qualidade das águas pluviais WQ_v (TOMAZ, 2009), portanto, segundo a Equação 5, tem-se que:

$$\text{Volume do pré tratamento} = 0,1 \times WQ_v \quad (5)$$

$$\text{Volume do pré tratamento} = 0,1 \times 178.538,5$$

Volume do pré tratamento = 17.853,85m³

Volume do pré tratamento = h × As

178.538,5 = 1,5 × As

As = 11.902,5 m²

Adotando-se a relação de comprimento/largura em 1:2 como indicado por Tomaz(2009) e substituindo na Equação 4, tem-se:

As = L × 2L (4)

11.902,5 = 2L²

L = 77,14 m

Sendo assim, o pré-tratamento deverá ter uma largura de 77,14 m e um comprimento de 154,28m, aproximadamente.

6.8 Custo

Segundo Von Sperling (1996), é previsto um custo de construção do sistema de US\$24,000.00/hectare, conforme Quadro 9, adaptada de Von Sperling(1996). Comparando-se com os sistemas de tratamento lagoa facultativa, lagoa anaeróbica e lagoa aerada, a wetland é o método que demanda menor custo por hectare. Utilizando-se a área calculada para a wetland construída, obteve-se o valor de 11,90 ha, resultando em um custo de aproximadamente US\$285.600,00.

Quadro 9 - Custos de Implantação de Sistemas de tratamento de esgoto

Sistemas de tratamento	Custo de implantação (US\$/ha)
Lagoa facultativa	600.000
Lagoa anaeróbica	375.000
Lagoa aerada	63.500
Wetland	24.000

Fonte: adaptado de Von Sperling (1996).

7 RESULTADOS

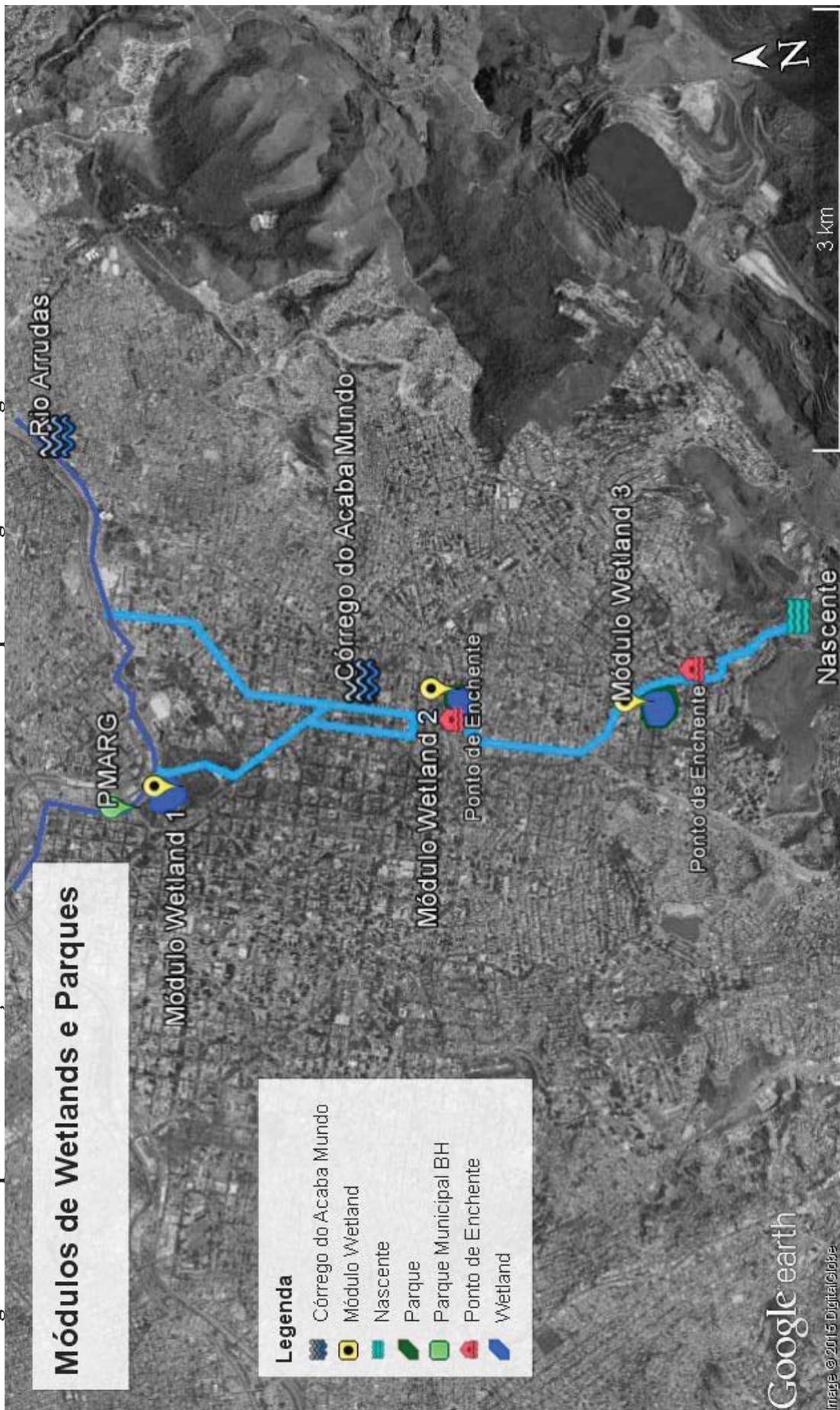
O cálculo de dimensionamento da wetland resultou em uma área necessária de aproximadamente 119.025,6 m², o que representa 65,39% da área do Parque e 1,46% da área da bacia. Portanto, apesar de ser uma área pequena comparando-se com a área de drenagem da bacia, para a sua implantação seria necessário ocupar uma grande área do Parque, sendo necessária a supressão de diversas árvores, além da retirada de áreas de lazer. Entretanto, vale ressaltar que o sistema wetland ocuparia uma proporção de área do Parque de 21,4% se este ainda ocupasse sua área inicial de 555 mil m².

Considerando a elevada área requerida dentro do parque, sugere-se a aplicação de módulos de wetlands, junto a criação de novos parques verdes ao longo do Córrego do Acaba Mundo. Desse modo, a área necessária seria distribuída ao longo do córrego, não sendo utilizado um espaço tão grande do Parque Municipal.

Propõe-se, assim, a distribuição da área em três módulos de wetlands, resultando na área requerida para o tratamento do Córrego. A Figura 22 mostra o mapa geral de localização dos possíveis módulos das wetlands e seus respectivos parques. No mapa é possível observar também os pontos de enchentes, além da nascente do Córrego do Acaba Mundo, o Parque Municipal e um trecho do Rio Arrudas.

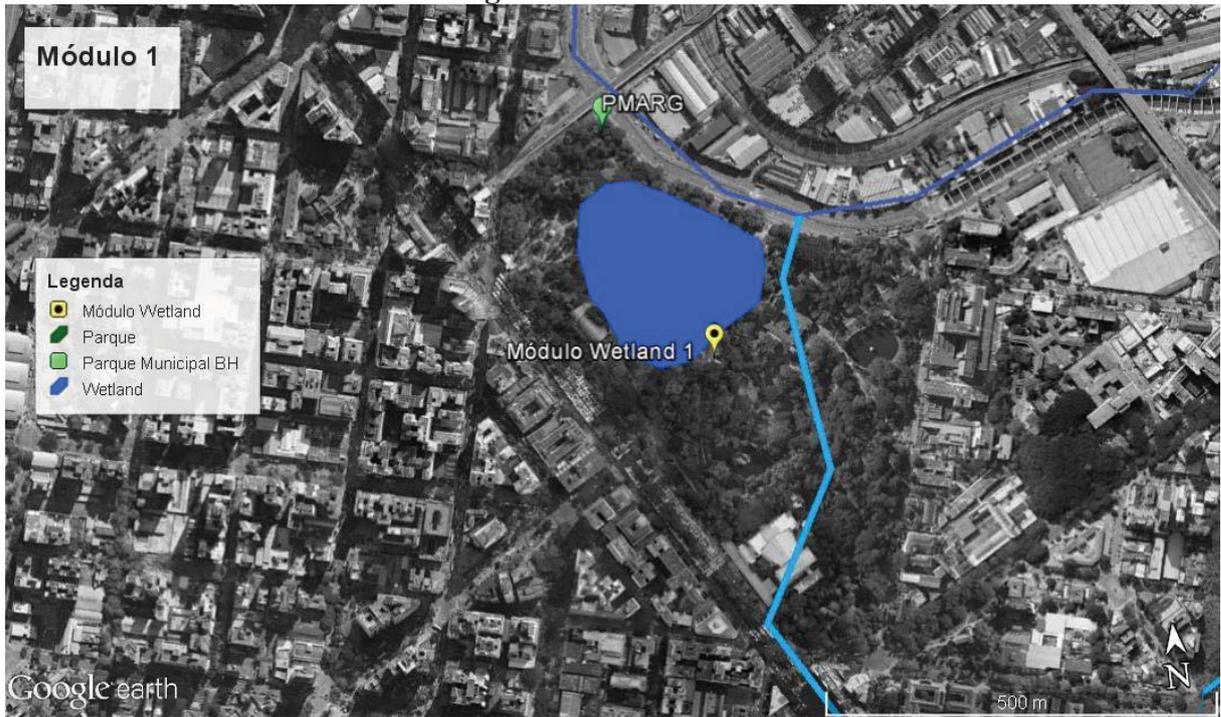
O primeiro módulo (Figura 23) seria implantado no Parque Municipal Américo Renné Giannetti, como proposto inicialmente, contendo uma área de aproximadamente 40.200 m². O segundo módulo (Figura 24) estaria localizado no quarteirão entre a Rua Grão Mogol e a Avenida do Contorno com aproximadamente 30.380m². Por fim, o terceiro módulo (Figura 25) seria uma ampliação da Praça Nova York, contendo aproximadamente 42.466m². Os dois últimos módulos foram localizados estrategicamente em locais caracterizados por serem pontos frequentes de enchentes e que seriam amenizadas com a construção dos Parques, aumentando a permeabilidade do solo na região. Os valores das áreas de cada módulo foram obtidos através da ferramenta de cálculo de área do Google Pro. Os polígonos que representam os módulos foram desenhados de forma aproximada de acordo com os espaços mais disponíveis de cada região.

Figura 22 - Proposta de localização dos módulos de wetlands e Parques ao longo do Córrego do Acaba Mundo



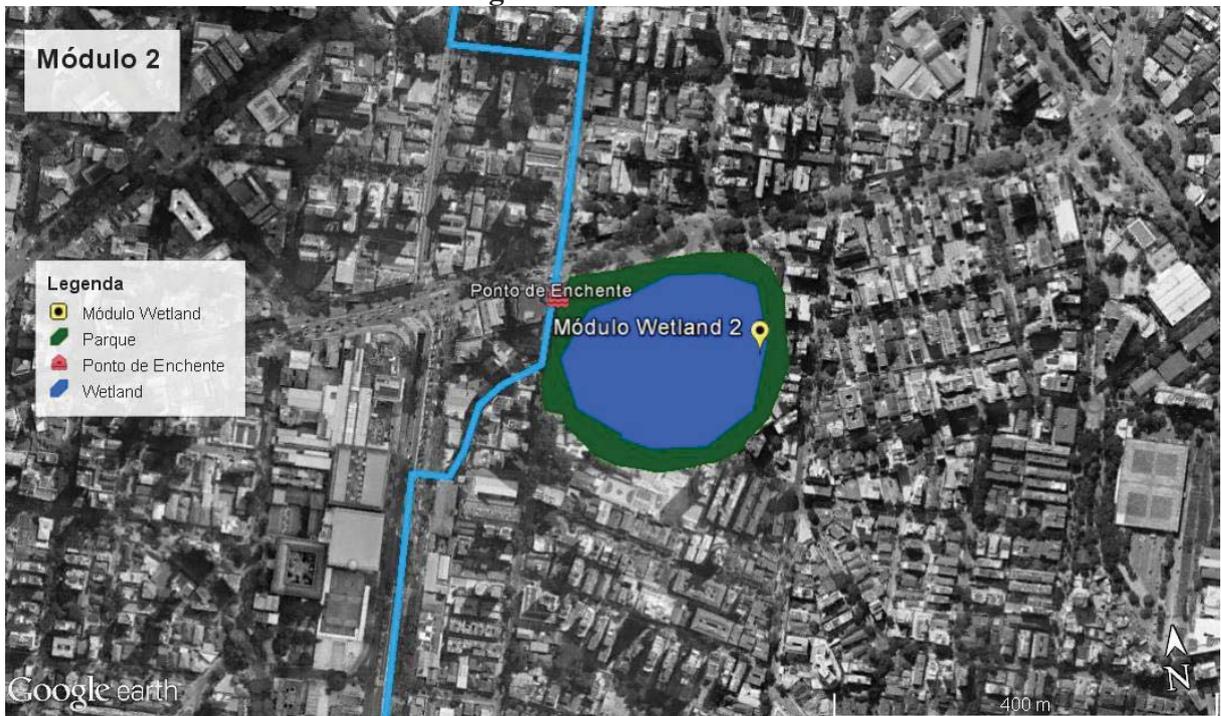
Fonte: Google Earth Pro

Figura 223 - Módulo 1



Fonte: Google Earth Pro

Figura 234- Módulo 2



Fonte: Google Earth Pro

Figura 245 - Módulo 3



Fonte: Google Earth Pro

A proposta de implantação de módulos de Wetlands ao longo do córrego implicaria em um elevado custo para desapropriação, por tratar-se de áreas com alto valor econômico. Contudo, a criação de espaços verdes e áreas de lazer seria um grande avanço, melhorando a qualidade de vida da população, incorporando o curso d'água à cidade e recuperando suas funções ambientais, ecológicas, paisagísticas e sociais. Além disso, as áreas verdes e wetlands contribuiriam para uma melhora do clima na cidade, trazendo benefícios à saúde e bem-estar da população e diminuindo o risco de enchentes.

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Segundo o Programa Municipal de Saneamento (2015), os problemas referentes à gestão dos recursos hídricos e drenagem urbana, geram nas comunidades o desejo de canalizar os córregos. Esse desejo reflete a vontade de se livrar de problemas decorrentes da falta de saneamento, da poluição, das doenças, dos maus odores, de cenários deploráveis de miséria e insalubridade. Contudo, essa medida apenas esconde os problemas, não os resolve e nem combate suas causas, tratando-se assim, de um falso saneamento.

Neste contexto, conceitos inovadores referentes à gestão dos corpos hídricos, como a revitalização dos cursos d'água, vêm ganhando espaço, deixando no passado ideias higienistas e imediatistas como a canalização dos córregos e rios. O Programa Municipal de Saneamento (2015) destaca este novo conceito de planejamento urbano:

As modernas concepções de planejamento urbano integrado exigem um tratamento multidisciplinar dos problemas e pressupõem soluções a longo prazo, negociação política e participação social. Priorizam metas de desenvolvimento que têm por finalidades a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos, a busca de uma melhor organização econômica para a sociedade e a garantia da conservação do meio ambiente. Desse modo, as soluções de planejamento que se subordinam a uma visão de emergência ou de urgência, imediatista, ou então meramente tecnicista e desvinculada do contexto econômico e social, devem ser descartadas. (PROGRAMA MUNICIPAL DE SANEAMENTO, 2015).

Tendo em vista essa concepção moderna de planejamento urbano, este trabalho propôs a revitalização do Córrego do Acaba Mundo com o objetivo de recuperar as suas funções ambientais, ecológicas, paisagísticas e sociais e incentivar a revitalização de outros córregos e rios, contribuindo assim, para a melhoria da qualidade dos corpos d'água da cidade.

O método wetland se mostra uma excelente técnica de tratamento, pois além de ser esteticamente agradável, requer baixo custo de implantação se comparado com outras técnicas, resultando em um custo de \$285.600,00 para o tratamento do Córrego do Acaba Mundo. A área necessária para a implantação do método é de aproximadamente 119.025,6 m², o que representa uma pequena porcentagem se comparando com a área de drenagem da bacia (1,46%), mas representa uma alta porcentagem da área do Parque Municipal (65,39%) o que ocuparia quase todo o Parque.

Sendo assim, a sugestão de implantação de módulos de wetlands ao longo do Córrego, visa distribuir a área necessária para o tratamento, gerando novas áreas verdes na cidade e trazendo inúmeros benefícios ambientais e sociais para a população e para os rios. Essa

proposta adota uma visão urbanística de valorização e inclusão dos rios e de privilegiar e construir novas áreas verdes, requalificando o potencial do espaço natural da cidade.

Contudo, é necessária uma mobilização conjunta da sociedade e governo, com projetos de educação ambiental e fiscalização de canais ilegais que lançam efluentes sem tratamento nos cursos d'água.

Para próximos trabalhos, sugere-se um estudo mais detalhado das características qualitativas e quantitativas do Córrego do Acaba Mundo para novos cálculos de área necessária para implantação, levando em conta a eficiência desejada de remoção de poluentes. Assim, para uma eficiência mais baixa de remoção, seria possível obter uma área de implantação menor, deixando a aplicação mais viável economicamente.

Sugere-se também para trabalhos futuros, o dimensionamento de wetlands com fluxo vertical e a possibilidade de implementação de wetlands combinadas, visando obter uma menor área e, conseqüentemente, menor custo de construção.

Além disso, sugere-se discutir a possibilidade de extensão das áreas verdes, como a construção de Parques Lineares, visando a revitalização dos rios e melhora da qualidade de vida da população.

REFERÊNCIAS

AGB Peixe Vivo. Disponível em: <<http://www.agbpeixevivo.org.br/nascentesurbanas/index.php/nascentes-rib-arrudas/sub-bacia-corrego-do-acaba-mundo>>. Acessado em: ago. 2015

ARQUIVO PÚBLICO MINEIRO. Disponível em:<<http://www.siaapm.cultura.mg.gov.br/>>. Acessado em: ago. 2015

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266 p.

BATISTA, M.; CARDOSO, A. Rios e cidades: uma longa e sinuosa história. Universidade federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <<https://www.ufmg.br/revistaufmg/downloads/20-2/05-rios-e-cidades-marcio-baptista-adriana-cardoso.pdf>>. Acesso em: set. 2015.

BINDER, W. Rios e Córregos – Preservar - Conservar – Renaturalizar. A Recuperação dos Rios, Possibilidades e Limites da Engenharia Ambiental. Projeto PLANAGUA. SEMADS, Rio de Janeiro, 41p. 2001. Disponível em: <http://www.pm.al.gov.br/intra/downloads/bc_meio_ambiente/meio_03.pdf>. Acesso em: set. 2015.

BORSAGLI, Alessandro; MEDEIROS, Fernanda Guerra Lima. Os córregos e a metrópole: a inserção no espaço urbano dos cursos d'água que atravessam a zona urbana de Belo Horizonte. XII Simpósio Nacional de Geografia Urbana, Belo Horizonte, 2011.

BRASIL - Constituição Federal de 1988 (Título VIII, Capítulo VI, Artigo 225).

BRASIL. Lei Federal n.º 9.433/97. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos, regulamenta o inciso XIX artigo 21 da Constituição Federal, e altera o artigo 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a lei n.º 7.990, de 28 de dezembro de 1989. 15p., 1997.

CBH RIO DAS VELHAS. (2015). Sub-comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. Disponível em: <<http://cbhvelhas.org.br/scbharrudas>> Acessado em: jul. 2015.

CLEWELL, Andre; RIEGER John; MUNRO, John. Guidelines for Developing and Managing Ecological Restoration Projects. A Society for Ecological Restoration Publication, June 24, 2000. Disponível em: <http://www.globalrestorationnetwork.org/uploads/files/LiteratureAttachments/164_guidelines-for-developing-and-managing-ecological-restoration-projects.pdf>. Acesso em: set. 2015.

CONAMA. Resolução 357, de 17 de março de 2005: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html> >. Acesso em: 01 dez. 2015.

COSTA, Lucia M. Águas urbanas: os rios e a construção da paisagem. In: Encontro Nacional de Ensino de Paisagismo em Escolas de Arquitetura e Urbanismo, VI, Recife, 2002.

COSTA, Simone Dalla. Estudo da Viabilidade de Revitalização de Curso d'água em área urbana: estudo de caso no rio córrego grande em Florianópolis, Santa Catarina. (Dissertação de Pós graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina). Florianópolis-SC. 2008.

DRENURBS. Secretaria Municipal de Belo Horizonte. Programa de Recuperação Ambiental de Belo Horizonte –DRENURBS Suplementar- Manual de Execução. 2011.

EMBRAPA Instrumentação. Jardim Filtrante – o que é e como funciona. São Carlos, 2013.

FILHO, K. Z., MARTINS, J. R. Água em ambientes urbanos – Renaturalização de Rios em Ambientes Urbanos. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. 2009.

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

JULIETTE, Z. Les nouvelles esthétiques de l'eau dans les parcs urbains contemporains. Dissertação (Graduação). Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage. 2013.

KADLEC, R. H. e WALLACE, S. D. Treatment wetland. 2a ed. CRC Press, 1996. Disponível em:

<http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/KADLEC%20WALLACE%202009%20Treatment%20Wetlands%202nd%20Edition_0.pdf>. Acesso em: set. 2015.

LAUTENSCHLAGER, R. S. Modelagem do desempenho de wetlands construídas. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Brasil. 2001.

LEZY-BRUNO, L.; OLIVEIRA, Y. A experiência francesa em gestão de águas: práticas voltadas para a valorização dos recursos hídricos e da paisagem. APP urbana – seminário nacional sobre o tratamento de áreas de preservação permanente em meio urbano e restrições ambientais ao parcelamento do solo. São Paulo, 2007.

LISBOA, A. H., GOULART, E. M., DINIZ, L. F. M. Projeto Manuelzão: A história de mobilização que começou em torno de um rio. Belo Horizonte, 2008.

MANFRINATO, E. S. “Avaliação do Método Edafo-fitopedológico para o Tratamento preliminar de Águas”. Piracicaba-SP, 98 p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Maio de 1989.

MATTOSO, B. F. D. Estudo de eficiência de Wetland no córrego Pirajussara. Dissertação (Graduação). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2014.

MIRANDA, B. J; ALMEIDA, E. B; LAMARQUE, G. J. Revitalização de cursos d'água. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Arquitetura e Urbanismo. 2013

MMA. Ministério do Meio Ambiente – Revitalização da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – Conceito de Revitalização, Disponível em www.mma.gov.br. Acesso em: set. 2015.

MONTEIRO, R. C. M., Viabilidade técnica do emprego de sistemas tipo wetlands para tratamento de água cinza visando o reuso não potável. Dissertação (Mestrado) USP – Universidade de São Paulo, 2009.

NASCIMENTO, N. O., BAPTISTA, M. B., VON SPERLING, E. Problemas de Inserção Ambiental de Bacias de Detenção em Meio Urbano, In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 1999.

NEW JERSEY STORMWATER BEST MANAGEMENT PRACTICES MANUAL, Standard for Constructed Stormwater Wetlands. Fevereiro, 2004. Cap. 9.2. Pag.: 9.2-12. Disponível em: <http://www.njstormwater.org/bmp_manual/NJ_SWBMP_9.2%20print.pdf>. Acesso em: set. 2015.

PEREIRA, I. L. V. Estudos de Revitalização de cursos d'água – Trecho Experimental no Rio das Velhas. Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos- UFMG. Belo Horizonte, MG. 2008.

PNRH. Plano Nacional de Recursos Hídricos – Ministério do Meio Ambiente – MMA, Secretaria de Recursos Hídricos, 2006.

POMPÊU, C. A e RIGOTTI, J. A. Estudos de Revitalização de Cursos d'água: Bacia Hidrográfica do Futuro Campus UFSC, Joinville – SC. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2008.

POMPEU, P. S.; ANDRADE e SANTOS, H. de (2006). “O desafio da revitalização de cursos d'água urbanos”. Cadernos Manuelzão. v.1, n. 2 nov. 2006. Belo Horizonte, MG, pp. 28 – 33.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE (2015). Informativo sobre o Parque Municipal Américo Renné Giannetti. Disponível em: <<http://www.belo Horizonte.mg.gov.br/local/servico-turistico/espaco-para-evento/aberto/parque-municipal-americo-renne-giannetti>>. Acessado em: ago. 2015.

Programa DRENURBS Uma concepção inovadora dos recursos hídricos no meio urbano de Belo Horizonte – MG, 2013. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/wp-content/uploads/2015/05/AF_DRENNURBS.pdf>. Acesso em: set. 2015.

PROGRAMA MUNICIPAL DE SANEAMENTO. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 2015.

Projeto de Valorização das Nascentes Urbanas – Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas – Subcomitês das Bacias Hidrográficas dos Ribeirões Arrudas e Onça. 2013.

PROJETO MANUELZÃO, Minas Gerais. Inclusão, colaboração e governança urbana. Pg 87. Disponível em: <http://www.chs.ubc.ca/consortia/outputs3/CaseStudy-Projeto_Manuelzao.pdf>. Acesso em: set. 2015.

"PROJETO MANUELZÃO. História. Disponível em: <http://www.manuelzao.ufmg.br/sobre_o_projeto/historia> Acesso em: ago. 2015.

PROJETO RIOS INVISÍVEIS. Disponível em: <http://riosinvisiveis.wix.com/riosinvisiveis#!historia/component_74511>. Acessado em: ago. 2015.

RILEY, A. L., Restoring Streams in Cities: A Guide for Planners, Policymakers, and Citizens. Washington DC: Island Press, 1998. 423 p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=BSdDXcPEEXMC&oi=fnd&pg=PT16&dq=Restoring+Streams+in+Cities:+A+Guide+for+Planners,+Policymakers,+and+Citizens&ots=IoMGN9z_tD&sig=Y7VuzMcWwJfMIRnNqNjMdbeBfpU#v=onepage&q&f=false> Acesso em: ago. 2015.

RODRIGUES, E. B.;SERBENT, M. P.; REIS, A. “Proposta de utilização de wetlands construídos para o tratamento de efluentes da floresta nacional de Ibirama/SC” UTFPR – Campus Curitiba. 2º Simpósio Brasileiro sobre Wetlands Construídos, 2015.

SALATI, E. (2011). Controle da qualidade de água através de sistemas de wetlands construídos. FBDS -Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, Rio de Janeiro, 2011.

SALATI, E; SALATI FILHO, E; SALATI, E. Utilização de sistemas de Wetlands Construídas para tratamento de águas. 2009. 23 f. Instituto Terramax - Consultoria e Projetos Ambientais Ltda, Piracicaba, 2009.

SANCHES, Patrícia M. O papel dos rios na cidade contemporânea: dimensão social e ecológica. APP Urbana – Seminário Nacional sobre o tratamento de áreas de preservação permanente em meio urbano e restrições ambientais ao parcelamento do solo. São Paulo, 2007.

SILVA, C. S. “Wetlands construídos de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos”. Doutorado (Tese) Universidade de Brasília, 2007.

SILVA, S. L.; Integração Ecológica de Indicadores Ambientais e de Saúde Pública na Bacia do Rio das velhas - Minas Gerais (Dissertação) Universidade federal de Minas Gerais, 2009.

TOMAZ, P. Wetland construída para melhoria das águas pluviais - Capítulo 59, Curso de Manejo de águas pluviais, 2009. 122p.

URBAN MUNICIPAL CANAL RESTORER FUZHOU, CHINA. Disponível em: <http://antonylyons.macmate.me/bristolgreenmachine/Intro_files/100623.casestudy.baima.pdf>. Acesso em: out. 2015.

VALENTIM, M. A. A., Desempenho de leitos cultivados (“constructed wetland”) para tratamento de esgoto: Contribuições para concepção e operação. 2003. 210p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2003.

VON SPERLING, M. Princípios básicos do tratamento de esgotos - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte, UFMG. v.2. 1996.

WASH – Wetlands and Water, Sanitation and Hygiene. Wetlands International, janeiro de 2010. Disponível em: www.wetlands.org Acesso em: set. 2015.

WETLANDS SOLUTIONS INC. Sediment accretion and ageing in treatment wetlands. Escrito por Cris Keller e Bob Knight, 2006.

YANAMOTO, G. C. R; CANALI, N. E. Importância das Wetlands para a qualidade das águas na região metropolitana de Curitiba- PR. Revista Eletrônica do Programa de Pós Graduação em Geografia -UFPR. Curitiba, v.7, n.1, p. 161-189, jun. 2012.