

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana**

**SISTEMA DE WETLANDS CONSTRUÍDAS ASSOCIADOS AO CONTEXTO
URBANÍSTICO E PAISAGÍSTICO: ESTUDO DE CASO DE BARRA BONITA/SP**

MAXIMILIAM BORGES MARIANO

São Carlos

2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana**

**SISTEMA DE WETLANDS CONSTRUÍDAS ASSOCIADOS AO CONTEXTO
URBANÍSTICO E PAISAGÍSTICO: ESTUDO DE CASO DE BARRA BONITA/SP**

MAXIMILIAM BORGES MARIANO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para obtenção dos títulos de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. Nemésio Neves Batista
Salvador

São Carlos

2017

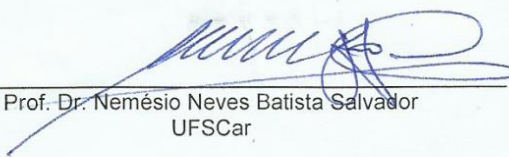


UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS


Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

Folha de Aprovação

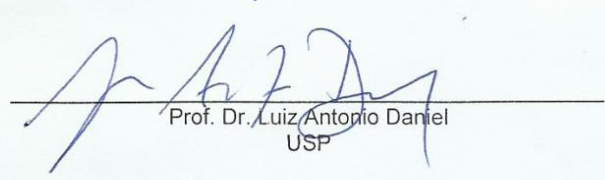
Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Maximilian Borges Mariano, realizada em 12/06/2017:



Prof. Dr. Nemésio Neves Batista Salvador
UFSCar



Prof. Dr. Luiz Antonio Nigro Falcoski
UFSCar



Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel
USP

O que dá o verdadeiro sentido ao encontro é a busca, e
é preciso andar muito para se alcançar o que está perto.

José Saramago

AGRADECIMENTOS

Agradecer com certeza é a parte mais importante dessa jornada de três anos repleta de desafios e conquistas, que só se tornou possível por poder contar com pessoas muito especiais ao meu lado, responsáveis por me ajudarem a realizar esse sonho.

O Prof. Dr. Nemésio Neves Batista Salvador responsável por clarear todos os meus pensamentos, quando as ideias pareciam tão escuras e os resultados não eram tão visíveis.

O Prof. Dr. Erich Kellner por todo compartilhamento de conhecimento e contribuições para o trabalho.

Minha mãe Aparecida Odete T. B. Mariano merece um destaque especial nessa história, por todo suporte técnico, emocional e principalmente por ser “mãe” quando eu mais precisei.

Meu pai Moacir Mariano e minha irmã Tamara Mariano também foram fundamentais nessa caminhada, pois também se mantiveram ao meu lado ajudando no que fosse possível sempre, nunca deixando de estarem perto. Vocês são sensacionais!

Jéssika Moscato, minha namorada, que me escutou, entendeu, orientou e principalmente me apoio em tantos momentos de dúvidas e incertezas quando o final parecia tão distante. Muito obrigado minha linda!

Os amigos Pedro Fernando e João Villas Boas por serem os responsáveis em indicar o caminho e tornarem esse sonho possível.

Aos colegas de Trabalho da Raízen Fábio Sant’ana, Giuseppe Zermo e Guilherme Lavorente que tanto me apoiaram e ajudaram nessa jornada.

RESUMO

A similaridade do sistema de wetlands com paisagens naturais, de beleza cênica comprovada, atribui a ele uma característica única, a qual possibilita que haja o uso da área ao seu entorno para atividades de lazer, práticas esportivas, educação ambiental, turismo, entre outras. O presente trabalho propõe-se a avaliar os benefícios potenciais e os desafios da implantação de um sistema de wetlands consorciado a um parque urbano, como pós-tratamento de efluentes tratados em um sistema de lagoas, em empresa do setor sucroenergético localizada na Estância Turística de Barra Bonita, Brasil, SP. A metodologia utilizada baseia-se em levantamento e compilação de informações obtidas em bibliografia e de dados primários levantados através da coleta e análises laboratoriais. O produto final apresentou as dimensões reais e necessárias para a implantação de um sistema de wetlands associada a um parque urbano e indicou a melhor localização para a implantação do projeto considerando os aspectos físicos, urbanísticos e legais, através da associação das propostas de áreas com as diretrizes do Plano Diretor Integrado do município, como também, demonstrou que conectar um sistema de tratamento por wetlands a um parque urbano pode ser uma alternativa eficaz para desenvolver aspectos sociais, ambientais e urbanísticos ao município e a sua população.

Palavras-chave: Wetlands, Parque urbano, Sucroenergético, Barra Bonita

ABSTRACT

The similarity of the wetlands system with natural landscape, scenic beauty confirmed, attributes to it a unique characteristic, which allows the usage of the surrounding area for leisure activities, sports practice, environmental education, tourism, among others. This paper aims to evaluate the potential benefits and the challenges of implanting a wetlands system consorted to an urban park, as post-treatment of effluent treated in a lagoon system, in a sugar-ethanol sector company located in Barra Bonita, Brazil, SP. The methodology used is based on the information gathering and compilation in bibliography and primary data collected through the collection and laboratory analysis. The final product presented the real and necessary dimensions for the implementation of a wetlands system associated to an urban park and indicated the best location for the implementation of the project considering the physical, urban and legal aspects, through the association of the proposed areas with the guidelines of the Integrated Master Plan of the municipality, but also demonstrated that connecting a wetlands treatment system to an urban park can be an effective alternative to develop social, environmental and urban aspects to the municipality and its population.

Keywords: Wetlands, Urban Park, Sugar-ethanol company, Barra Bonita

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Croqui de wetlands Construídas flutuante (SALATI et al, 2009)	23
Figura 2 - Sistema de wetlands com plantas emergentes com fluxo superficial (ANJOS, 2003 apud SILVA, 2007)	24
Figura 3 - Croqui de sistema de wetlands construídas com plantas submersas (VYMAZAL, 1998 apud SILVA, 2007)	24
Figura 4 - Fluxograma de tipos de tratamento de wetlands de acordo com o perfil hidrológico. (Adaptado pelo autor de KADLEC & WALLACE, 2008)	25
Figura 5 - (1) Macrófitas aquáticas emersas (Vymazal and Kropfelová, 2008 apud Sainty and Jacobs, 1981, desenhadas por David Mackay, com permissão.	27
Figura 6 - (2) Macrófitas aquáticas submersas (Vymazal and Kropfelová, 2008 apud Sainty and Jacobs, 1981, desenhadas por David Mackay	27
Figura 7 - (3.a) Macrófitas flutuantes livres (Vymazal and Kropfelová, 2008 apud Sainty and Jacobs, 1981, desenhadas por David Mackay, com permissão.....	27
Figura 8 - (3.b) Macrófitas flutuantes enraizadas (Vymazal and Kropfelová, 2008 apud Sainty and Jacobs, 1981, desenhadas por David Mackay.....	28
Figura 9 - Modelo construtivo de wetlands construídas em escala piloto de fluxo horizontal (CANO, 2010).....	29
Figura 10 - Modelo construtivo de wetlands construídas em escala piloto de fluxo vertical (CANO, 2010)	30
Figura 11 - Jardim projetado por Burle Marx restaurado na Lagoa da Pampulha, 2013	44
Figura 12 - Vista dos lagos do Parque do Ibirapuera, São Paulo, SP, 2016.....	45
Figura 13 - Vista do Parque Barigui, Curitiba, PR, 2016	45
Figura 14 - Croqui do Sistema de wetlands construído em Koh Phi Phi, Tailândia. (01) Sistema de Distribuição, (2) wetlands de Fluxo Vertical, (3) wetlands de Fluxo Horizontal (4) wetlands com espelho d'água aparente, (5) lagoas de Polimento. (fonte: BRIX et al, 2007).....	47
Figura 15 - Imagem do sistema de wetlands construídos na ilha de koh Phi Phi, Tailândia, 2007	48
Figura 16 - Vista do Canal Baina, Fuzhuo, China antes e depois da revitalização com a implantação de wetlands, 2016	49

Figura 17 - Wetlands construídas para polimento de efluentes gerados do National Audubon Corkscrew Swamp Sanctuary, localizado no Estado da Flórida, EUA, 2016	50
Figura 18 - Vista Quzhou Luming Park, província de Zhejiang, China, 2015.....	51
Figura 19 - Vista geral do Qunli Stormwater Park localizado em Haerbin City, província de Heilongjiang, China	51
Figura 20 - Vista da infraestrutura instalada no Qunli Stormwater Park para uso da população, localizado em Haerbin City, província de Heilongjiang, China, 2015	52
Figura 21 - Vista do Hong Kong Wetlands Park, Hong Kong, China, 2016.....	53
Figura 22 - Localização da planta industrial e do sistema de tratamento perante as zonas urbanas próximas, 2015.....	63
Figura 23 - Localização do município de Barra Bonita – SP no Estado de São Paulo, 2016	64
Figura 24 - Rosa dos Ventos - Média Anual - Período: 2.008 a 2.012 Estação Meteorológica da INMET Barra Bonita, 2013	65
Figura 25 – Croqui do Cenário 01 de implantação do Parque associado ao sistema de wetlands calculado através da Taxa de Carregamento Orgânico (TCO)	73
Figura 26 – Croqui esquemático do Cenário 02 de implantação do Parque associado ao sistema de wetlands calculado através da Taxa de Carregamento Orgânico (TCO)	78
Figura 27 – Croqui esquemático de implantação do Parque associado ao sistema de wetlands calculado através dos aspectos hidráulicos	86
Figura 28 – Mapa das potenciais áreas para implantação do sistema de wetlands consorciado com parque urbano, 2013.....	90
Figura 29 – Mapa da delimitação das Macrozonas Urbanas na Estância Turística de Barra Bonita com a inclusão das áreas potenciais para implantação do projeto, 2016	92
Figura 30 – Mapa da delimitação das Áreas e Pontos de Especial Interesse Turístico na Estância Turística de Barra Bonita, 2016.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dada das análises de saída de efluentes no sistema de tratamento realizada em laboratório interno -66	
Tabela 2 - Dados obtidos no Cenário 01 para pré-dimensionamento do sistema de wetlands	75
Tabela 3 - Dados obtidos no Cenário 02 para pré-dimensionamento do sistema de wetlands	80
Tabela 4 - Dados dos Cenários de pré-dimensionamento do sistema de wetlands .	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características físico-químicas das fontes geradoras de efluentes em empreendimento sucroenergético.....	22
Quadro 2 - Resultados obtidos através de estudo de wetlands piloto	33
Quadro 3 - Resumo dos dados de projeto e operacionais utilizados em sistemas de wetlands de fluxo horizontal	37
Quadro 4 - Diagnóstico dos potenciais benefícios do sistema de wetlands, assim como desafios e soluções	98

LISTA DE ABREVIATURAS/ SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Ac – Área Superficial de uma Célula

ASL – Análises Ambientais

At – Área Total

A. Trans. - Área transversal

C- Comprimento

Cetesb – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CO – Carga Orgânica

CPA/CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura

d - Declividade

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio.

DQO – Demanda Química de Oxigênio.

DHS – Despoluição Hídrica do Solo.

I – Índice de Vazios

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal.

Kg/ha.d – Quilograma por hectare dia.

Ks – Condutividade Hidráulica

L – largura

Lc – largura das Células de wetlands

NPK – Nitrogênio, fosforo e Potássio.

ONU - Organização das Nações Unidas.

P - Profundidade

Ph – Potencial Hidrogênio.

Q – Vazão

S – Concentração de efluente

S – Declividade do leito ou gradiente hidráulico

T – Temperatura

t – Tempo

TDH – Tempo de Detenção Hidráulica.

TCO – taxa de Carregamento orgânico

SMA – Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Reator Anaeróbio de fluxo ascendente)

Vu – Volume útil

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	20
2.1 Geral	20
2.2 Específicos	20
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1 Características dos efluentes gerados pelo setor sucroenergético	21
3.2 Características de wetlands construídas e suas variações	22
3.2.1 Classificação de wetlands de acordo com a vegetação	23
3.2.1.1 Vegetação flutuante	23
3.2.1.2 Vegetação emergente	23
3.2.1.3 Vegetação submersa	24
3.2.2 Classificação de wetlands de acordo com o fluxo hidráulico	25
3.3 Plantas em wetlands	26
3.3.1 Classificação das plantas de acordo com o biotipo	26
3.3.2 Função da vegetação no sistema de wetlands	28
3.4 Dimensionamento de wetlands	29
3.5 Aplicações do sistema de wetlands no tratamento de efluentes	34
3.6 Parques urbanos	39
3.6.1 História dos Parques Urbanos	40
3.6.2 As funções de Parques Urbanos	41
3.6.3 Exemplos de Parques Urbanos e suas semelhanças com wetlands	43
3.7 Interação entre wetlands e zona urbanizadas	46
3.8 Plano Diretor Participativo de Desenvolvimento Integrado do Município da Estância Turística de Barra Bonita	53
4. METODOLOGIA	57
4.1 Coleta e análise de dados	57
4.2 Dados primários	57
4.3 Dados secundários	58
4.4 Pré-dimensionamento das wetlands	58
4.4.1 Pré-dimensionamento das wetlands através da cinética de remoção de matéria orgânica	59

4.4.2 Pré-dimensionamento das wetlands através de aspectos hidráulicos	60
4.5 Critérios para escolha da área potencial para instalação das wetlands	60
4.6 Considerações Parciais	61
4.7 Área de estudo	61
4.8 Estância Turística de Barra Bonita - SP	64
5. RESULTADOS.....	66
5.1 Caracterização do efluente depois da saída do tratamento atual	66
5.2 Pré-dimensionamento do Sistema de wetlands.....	68
5.2.1 Cálculo de pré-dimensionamento do sistema de wetlands através da adoção da Taxa de Carregamento Orgânico (TCO)	69
5.2.1.1 Cenário 01	69
5.2.1.2 Cenário 02.....	75
5.2.2 Cálculo de pré-dimensionamento do sistema de wetlands através dos critérios hidráulicos	81
5.2.3 Comparação entre os pré-dimensionamentos calculados para o sistema de wetlands	87
5.3 Definição de áreas potenciais para implantação de parque consorciado com o sistema de wetlands contruídas.....	88
5.3.1 Análise dos potenciais paisagísticos, urbanísticos e sociais do sistema de wetlands	97
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS... 100	
7. REFERÊNCIAS..... 102	

1 INTRODUÇÃO

A relação entre cidades e unidades produtoras de açúcar e etanol, em especial no Estado de São Paulo, é histórica e por muitas vezes se confunde, tamanha é a interação. A economia dos referidos municípios está baseada em uma parcela considerável na produção da cana-de-açúcar, em que grande parte dos moradores tem seu trabalho ligado diretamente ou indiretamente a essa atividade.

Há também uma influência de muitas empresas do setor sucroenergético nas estruturas básicas municipais, como saúde, educação, cultura, entretenimento, entre outras, por estarem geograficamente localizadas em regiões agrícolas e conseqüentemente próximas a cidades menores e carentes, muitas vezes com necessidades básicas parcialmente supridas pela iniciativa privada.

A Estância Turística de Barra Bonita, localizada no interior do Estado de São Paulo, pertencente à macrorregião de Bauru, fundada no ano de 1883, vivencia dessa relação com o setor sucroenergético desde meados meio do século XX, por ter uma grande planta desse seguimento instalada próxima à zona urbana do município e conseqüentemente ter parte da sua economia ligada a essa atividade.

Barra Bonita é conhecida por suas atrações turísticas ligadas à navegação fluvial, já que a sua zona urbana é banhada pelas águas do rio Tietê e tem na cultura da população a apreciação do desenvolvimento sustentável e do turístico ecológico. Características que também se aplicam à Estância Turística de Igarapé do Tietê, que apesar de não haver uma planta sucroenergética em sua área territorial, localiza-se muito próxima à zona urbana de Estância Turística de Barra Bonita, sendo o rio Tietê o divisor geográfico entre os dois municípios e também o maior responsável por tornar essas cidades tão próximas, muitas vezes até confundindo-as como apenas uma, tamanha a interação.

Apesar de municípios turísticos, ambos carecem de atrações que despertem interesse e tenham uma infraestrutura adequada para os cidadãos que ali vivem como também sirvam para incrementar o turismo local, atraindo assim novos visitantes e conseqüentemente trazendo um apoio econômico para a região.

A Lei Federal nº 10.257 de 10 de Julho de 2001, denominada como Estatuto das Cidades (BRASIL, 2001), reforçando a necessidade de melhorar as condições para a sociedade, vem para estabelecer normas de ordem pública e interesse social a respeito da propriedade urbana em relação ao bem-estar da população, assim como do equilíbrio ambiental. É descrito em seu Artigo 2º, inciso I:

Artigo 2º - A política urbana tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, mediante as seguintes diretrizes gerais:
I - Garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações.

A mensagem imposta pelo Estatuto das Cidades, de tornar as zonas urbanas cada vez mais sustentáveis às pessoas que nelas habitam, exige uma mudança de conceitos, inovação e principalmente iniciativa para buscar soluções que se adaptem a realidade existente hoje. Potencializar soluções para problemas existentes, através do consórcio com outras funções urbanas, transformando-as em benefícios diretos à população é o caminho para se alcançar a sustentabilidade.

Um desses problemas que conseqüentemente influencia na relação cana-de-açúcar e comunidade é referente ao volume considerável de água consumida nas plantas industriais, utilizada tanto no beneficiamento, quanto na irrigação da cultura, o que causa conflitos devido ao montante captado, como também pelo descarte dos efluentes gerados no solo ou em corpos hídricos. Mesmo com a implantação de medidas de reúso e otimização dos recursos hídricos no processo produtivo, o volume de água captado ainda é considerável, e conseqüentemente, faz com que ocorra uma geração de efluente também de forma intensa.

A maioria das unidades sucroenergéticas descartam seus efluentes no solo em conjunto com a vinhaça, subproduto da produção do etanol, em um processo denominado como fertirrigação, devido aos nutrientes benéficos a culturas agrícolas contidos nesse composto. Outras optam por tratar o efluente gerado e lançar em corpos hídricos.

As tecnologias de tratamento de efluentes utilizados pelo setor sucroenergético em geral são simples, optando, em sua grande maioria, por sistemas de lagoas. Esse tipo de sistema é aplicável para tratamento de efluentes gerados por esse segmento industrial, por terem características preponderantemente orgânicas.

A opção, em grande parte, pelo sistema de tratamento por lagoas, ocorre devido essas unidades industriais estarem localizadas na zona rural, com disponibilidade de grandes áreas, maior entrave para a aplicação dessa tecnologia, cujo principal benefício é o baixo custo de operação e manutenção. (VON SPERLING, 2006).

Mesmo com disponibilidade de áreas, em muitos casos, os sistemas de tratamento por lagoas facultativas ou anaeróbias ainda não são suficientes para atingir a eficiência necessária, já que os efluentes gerados por esses empreendimentos apresentam carga orgânica elevada, o que traz a necessidade de um enorme tempo de detenção hidráulica do sistema de tratamento.

O Decreto Estadual nº 8436/1976 (SÃO PAULO, 1976) em seu artigo 18, define os padrões de carga orgânica a serem atendidos para lançamento de efluentes no corpo hídrico, como sendo:

Artigo 18 - DBO 5 dias, 20°C no máximo de 60 mg/l (sessenta miligramas por litro). Este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento de águas residuárias que reduza a carga poluidora em termos de DBO 5 dias, 20°C do despejo em no mínimo 80% (oitenta por cento) (1976, s.n.)

Uma opção para aumento da eficiência no tratamento do efluente é o consórcio de lagoas e wetlands, já que essa tecnologia tem comprovada eficiência na associação com outros sistemas individuais para melhorar a qualidade do efluente a ser lançado em corpos hídricos (SILVA, 2007).

As wetlands consistem na formação de ecossistemas artificiais para reprodução de processos naturais, que englobam zonas úmidas, vegetação, solos e

ações desempenhadas pelos microrganismos, a fim de aperfeiçoar o processo de tratamento de efluentes (ZERWES, 2013).

Esse tipo de sistema tem como entrave o uso de áreas superiores aos sistemas de tratamento convencionais. Ainda assim, é viável conseguir um efluente dentro dos padrões exigidos sem o uso de energia elétrica, compostos químicos, geração de grandes montantes de lodo e com potencial de uso da área para paisagismo (MONTEIRO, 2009).

A similaridade do sistema de wetlands com paisagens naturais, de beleza cênica comprovada, atribui a ele uma característica única, a qual possibilita que haja o uso da área ao seu entorno para atividades de lazer, práticas esportivas, educação ambiental, turismo, entre outras. Isso traz uma oportunidade de aproximação da sociedade com a empresa, criando uma relação positiva e de confiança nas práticas sustentáveis de produção e mitigação de impactos ambientais, além de auxiliar em um problema estrutural das cidades brasileiras em relação à disponibilidade de áreas com atributos para uso da comunidade.

Zanella (2008) destaca a possibilidade de usar plantas ornamentais aplicadas ao sistema de wetlands, que além de proporcionar o polimento das águas em tratamento, também podem ser projetadas para assemelhar-se a jardins ou banhados naturais, desta forma tornar o sistema agradável visualmente e despertar um interesse maior dos visitantes.

O componente paisagístico atribuído ao sistema de wetlands confere a ele um diferencial significativo em relação a outros sistemas de tratamento, principalmente, por dar a possibilidade de tratar um tema tão intrínseco aos processos produtivos e cidades, que é a geração de efluentes líquidos, dentro do contexto urbanístico, contribuindo com algo além da sua atividade fim e não mais visto como um problema necessário a ser resolvido.

Considerando a contextualização e as especificidades do sistema de wetlands como uma possibilidade de pós-tratamento para o sistema existente, como também para implantação de um parque, faz-se necessário delinear a relevância científica, acadêmica e social da presente pesquisa.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

O objetivo geral foi avaliar os benefícios potenciais e os desafios da implantação de um sistema de wetlands como pós-tratamento de efluentes de empresa do setor sucroenergético consorciado a um parque urbano e elaborar um estudo de caso para implantação da proposta na Estância Turística de Barra Bonita, SP.

2.2 Específicos

- ✓ Delinear através de exemplos práticos já aplicados, a viabilidade do tratamento e a aptidão de wetlands para com um parque urbano;
- ✓ Monitorar o sistema de tratamento de efluentes existentes em empreendimento sucroenergético por um ciclo de produção (9 meses) e dimensionar em escala real um sistema de wetlands como pós tratamento, utilizando histórico de dados obtidos;
- ✓ Avaliar áreas potenciais e propor a melhor localização para implantação do sistema de wetlands;
- ✓ Delinear as diretrizes paisagísticas básicas do parque urbano;
- ✓ Avaliar as diretrizes e instrumentos do Plano Diretor Participativo de desenvolvimento Integrado da Estância Turística de Barra Bonita, SP.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Características dos efluentes gerados pelo setor sucroenergético

Empreendimentos de beneficiamento de cana-de-açúcar para produção de etanol, açúcar e energia elétrica utilizam um grande volume de água no processo produtivo, fato comprovado historicamente pela localização geográfica das plantas industriais, que estão em sua grande maioria próximas a fontes hídricas abundantes.

O uso do recurso hídrico em grande quantidade acontece devido às características do processo produtivo, que envolvem técnicas de lavagem da matéria-prima, produção de vapor, etapas de resfriamento, entre outros usos.

Visando parametrizar o volume de recursos hídricos consumido pelo setor sucroenergético, a Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, através da Resolução SMA nº 88/2008 (SÃO PAULO, 2008), definiu metas de captação por tonelada de cana-de-açúcar moída para serem atendidas em quinze anos após a sua publicação, de acordo com a localização das plantas industriais no zoneamento agroambiental do Estado, com limites variando de 1,0 m³ até 0,7 m³ por tonelada de matéria-prima.

O setor em geral vem desenvolvendo trabalhos de melhoria na eficiência hídrica, cujo foco está na busca da redução do consumo de água no processo de produção de açúcar e etanol, uma vez que se trata de um recurso de oferta limitada e de importância fundamental para essa atividade. A redução desse consumo foi drástica, já que no final do século XX utilizava-se 10,0 m³ por tonelada de cana processada e ocorreu uma evolução para em torno de 1,8 m³ por tonelada de cana-de-açúcar no início do século XXI (SILVA et al, 2011).

O efluente gerado no processo produtivo tem características orgânicas e em geral é composto por terra, folhas e açúcares (sacarose, glicose e frutose), porém podem ocorrer algumas variações de acordo com a forma que a cana-de-açúcar for colhida. A terra e as folhas são removidas facilmente por decantadores ou caixas de areia, já os sólidos solúveis dependem de processos físicos e químicos. (MELO et al, 2012 apud OMENA, et al., 2004; RODRIGUES JUNIOR, 2010).

Braile e Cavalcanti (1993) classificam os empreendimentos sucroenergéticos como do tipo úmido, devido à necessidade considerável de água utilizada no processo e também descrevem que os principais efluentes líquidos gerados da fabricação do açúcar e do etanol advêm da lavagem da matéria prima (atualmente

lava-se mais as esteiras transportadoras do que a cana-de-açúcar em si), da água condensada dos evaporadores, das colunas barométricas, de lavagens de pisos e equipamentos, refrigeração e de descarga das caldeiras, além da vinhaça (restilo). Eles apontam de forma individual as principais características físico-químicas das fontes de maior relevância, conforme é possível observar no Quadro 1.

Quadro 1 - Características físico-químicas das fontes geradoras de efluentes em empreendimento sucroenergético.

Tipo do Efluente	DBO (mg/l)	Resíduo Total (mg/l)	Sólido Sedimentável (mg/l)	pH
Lavagem de Cana	726	1130	7,1	4,5
Águas condensadas dos evaporadores	780	140	0	7,2
Águas das colunas Barométricas (tanques de recirculação)	424	446	0,2	5,9

Fonte: Adaptado de Braile e Cavalcanti (1993)

A evolução do processo de produção de açúcar e etanol proporcionou com que fosse possível reduzir o consumo de água nas plantas através da implantação de sistemas de reúso e adoção de equipamentos mais eficientes, porém isso também causa uma maior concentração de matéria orgânica e outros materiais nos efluentes, gerando assim efluentes com uma carga poluidora mais elevada, podendo superar os valores apontados por Braile e Cavalcanti (1993).

3.2 Características de wetlands construídas e suas variações

As wetlands construídas diferem das wetlands naturais pelo controle do regime hidrológico a que se impõe ao sistema artificial. Outro fator antônimo é a implantação de um projeto do substrato, o qual busca a condutividade hidráulica, ideal para o sistema. Há também a escolha da biodiversidade nos sistemas construídos, diferente do sistema natural, no qual o próprio ecossistema é responsável pela seleção (SALATI et al, 2009).

Há uma série de variações dos sistemas de wetlands, cuja classificação, em geral, pode ser diferenciada de acordo com o tipo de vegetação implantada ou do fluxo hidráulico aplicado, dando a essa tecnologia uma diversidade de opções.

3.2.1 Classificação de wetlands de acordo com a vegetação

A aplicação da vegetação no sistema de wetlands é intrínseca ao projeto e o tipo a ser escolhido está vinculado às expectativas a serem atingidas. Há diversas variáveis que influenciam na escolha. Dentre elas se destacam, as características do efluente a ser tratado, área disponível, o nível de complexidade na operação e até mesmo benefícios correlatos, como o uso da área ao entorno para fins paisagísticos. Abaixo, seguem as divisões mais usuais para o sistema de wetlands de acordo com a vegetação empregada.

3.2.1.1 Vegetação flutuante

São compostas por plantas enraizadas com folhas flutuantes na superfície do meio hídrico ou com plantas flutuantes sem fixação. As principais espécies utilizadas de plantas enraizadas são *Nymphaea*, *nuphar*, *Potamogeton*, *hydicotyle*. As espécies flutuantes sem fixação empregadas são *Lemna*, *Eichhornia* e *Spirodela*, com destaque para a *Eichhornia crassipes*, denominada popularmente como aguapé, e as lemnáceas, nomeadas também como lentilhas d'água, que têm como principal característica o rápido e intenso crescimento (SILVA, 2007).

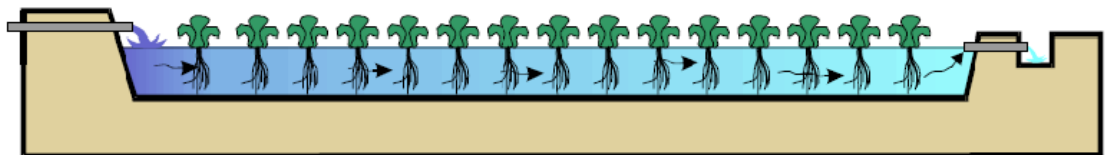


Figura 1 - Croqui de wetlands construídas flutuante (SALATI et al, 2009).

3.2.1.2 Vegetação emergente

São sistemas compostos de plantas que se desenvolvem com suas raízes fixadas ao substrato e parte de seu caule e folhas submersas. *Phragmites australis*, a *Typha latifolia* e a *Scirpus lacustres* são as principais espécies utilizadas, por serem adaptadas ao desenvolvimento em meios inundados devido à capacidade de transportar oxigênio para o sistema radicular. O uso de plantas com essas características podem ser subdivididos de três formas diferentes, sendo elas

emergentes com fluxo superficial, com fluxo subsuperficial horizontal e com fluxo vertical (SALATI et al, 2009).

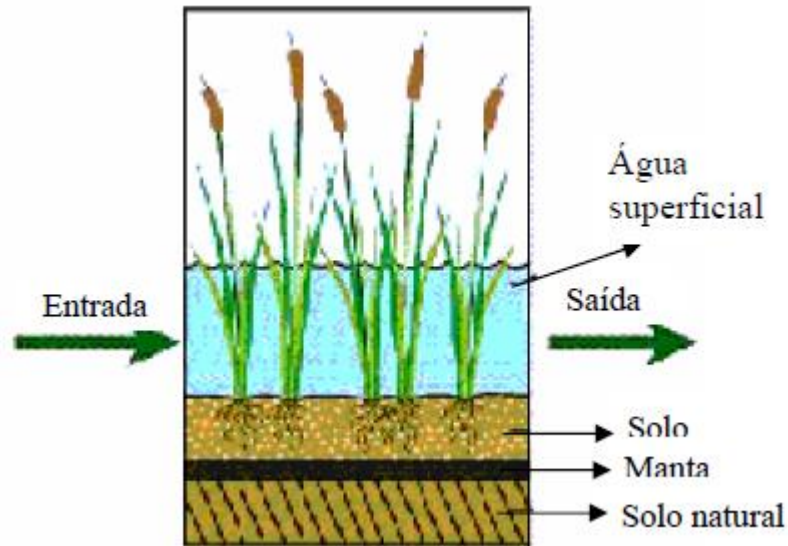


Figura 2 - Sistema de Wetlands com plantas emergentes com fluxo superficial (ANJOS, 2003 apud SILVA, 2007)

3.2.1.3 Vegetação submersa

A principal característica desse sistema está na total imersão das plantas no meio hídrico, que podem estar fixadas no substrato, em outras plantas ou até mesmo estarem livres. Sua principal característica é estar com o tecido fotossintético totalmente submerso.

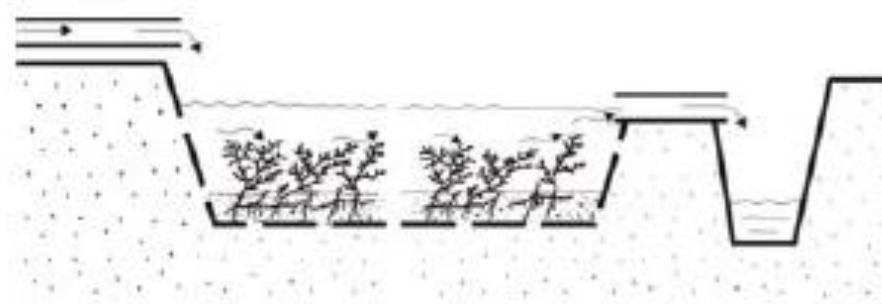


Figura 3 – Croqui de sistema de wetlands construídas com plantas submersas (VYMAZAL, 1998 apud SILVA, 2007).

3.2.2 Classificação de wetlands de acordo com o fluxo hidráulico.

As wetlands também podem ser classificadas de acordo com o fluxo hidráulico do efluente em seu meio, dividindo-se de modo mais abrangente de duas formas, fluxo vertical e fluxo horizontal. Nos sistemas verticais, como assim denominados, o efluente transita verticalmente pelo meio suporte, com possibilidades de ocorrer de forma ascendente ou descendente. O fluxo ascendente não ocasiona a mesma capacidade de oxigenação do descendente intermitente, pois o sistema sempre está saturado; já o descente possibilita uma maior oxigenação, criando uma condição biológica aeróbica (MONTEIRO, 2009).

Kadlec & Wallace (2008) classificam as wetlands de modo mais amplo relacionado ao perfil hidráulico do projeto, estando de modo geral divididas conforme exposto no fluxograma apresentado na Figura 04. Dentre as variações existentes, as wetlands de superfície livre, fluxo horizontal subsuperficial e de fluxo vertical são as mais difundidas atualmente.

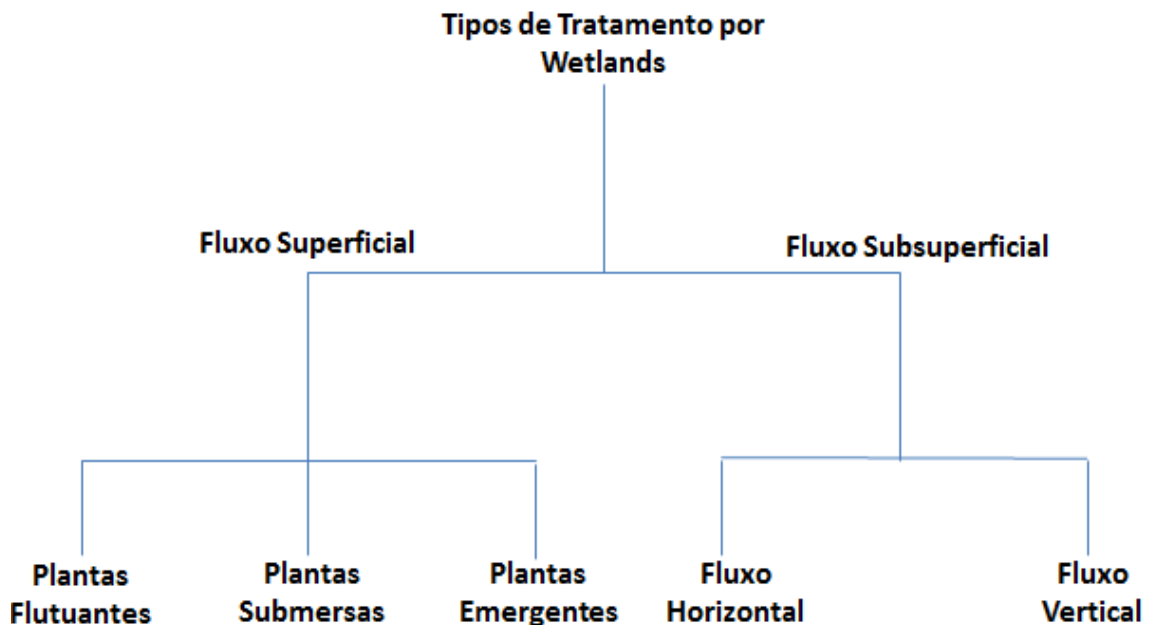


Figura 4 – Fluxograma de tipos de tratamento de wetlands de acordo com o perfil hidrológico. (Adaptado pelo autor de KADLEC & WALLACE, 2008)

3.3 Plantas em wetlands

O sistema de wetlands é uma adaptação de regiões úmidas, como pântanos e brejos, na qual o objetivo é potencializar a comprovada atividade purificante que essas regiões exercem na natureza, em sistemas projetados para tratamento de efluentes. Assim, é necessário conhecer as características das plantas a serem utilizadas no sistema, fator fundamental para sucesso do projeto.

3.3.1 Classificação das plantas de acordo com o biotipo.

A vegetação é parte fundamental desses sistemas, por ser uma das responsáveis pela grande atividade biótica existente nesses locais. Faria (2002) apud Mendonça (2011), classificam as espécies que habitam esses locais de acordo com seu biotipo:

- **Macrófitas aquáticas emersas:** enraizadas no sedimento, porém as folhas crescem da água. Ex: *Typha dominguensis* (taboa), *Hedychium coronarium* (lírio-do-brejo).

- **Macrófitas aquáticas flutuantes:** Flutuam livremente na superfície da água. Ex: *Pistia stratiotes* (alface d'água), *Eichornia crassipes* (aguapé).

- **Macrófitas aquáticas submersas enraizadas:** enraizadas, crescendo totalmente de baixo d'água. Ex: *Egeria densa* (elódea), *Cabomba sp.* (cabomba).

- **Macrófitas aquáticas submersas livres:** Permanecem flutuando de baixo d'água. Podem se prender a pecíolos e caules de outras macrófitas. Ex: *Utricularia sp.* (utriculária).

- **Macrófitas aquáticas com folhas flutuantes:** enraizadas no sedimento e com folhas flutuando na superfície da água. Ex: *Nymphaea elegans* (lírio d'água).

Vymazal and Kropfelová (2008) apud Arber (1920); Weaver and Clements, (1929); Daubenmire, (1947); Sculthorpe, (1967) dividem as macrófitas em 3 grupos de acordo com estudos morfológicos, fisiológicos e biológicos, as quais são: (1) Macrófitas emersas, (2) Macrófitas Submersas, (3.a.) Macrófitas flutuantes livres e (3.b) Macrófitas flutuantes enraizadas, elas estão apresentados nas figuras 5 a 8:

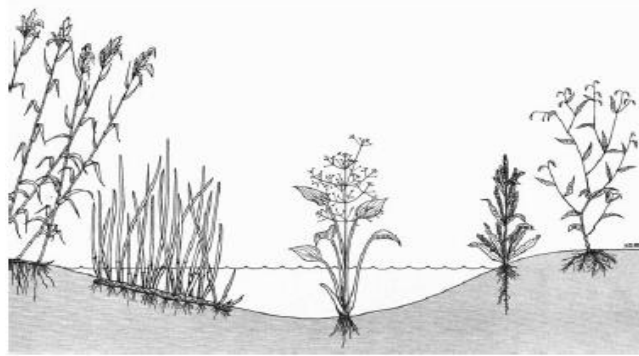


Figura 5 – (1) Macrófitas aquáticas emersas (Vymazal and Kropfelová, 2008 apud Sainty and Jacobs, 1981, desenhadas por David Mackay, com permissão).

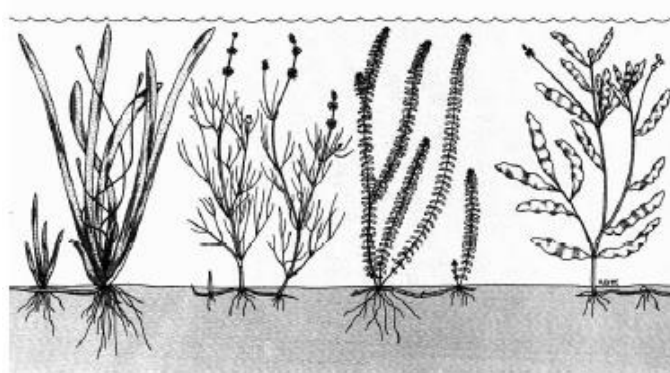


Figura 6 – (2) Macrófitas aquáticas submersas (Vymazal and Kropfelová, 2008 apud Sainty and Jacobs, 1981, desenhadas por David Mackay).

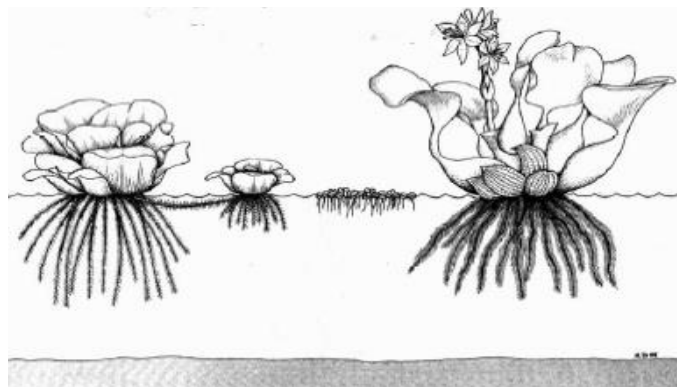


Figura 7 – (3.a) Macrófitas flutuantes livres (Vymazal and Kropfelová, 2008 apud Sainty and Jacobs, 1981, desenhadas por David Mackay, com permissão).

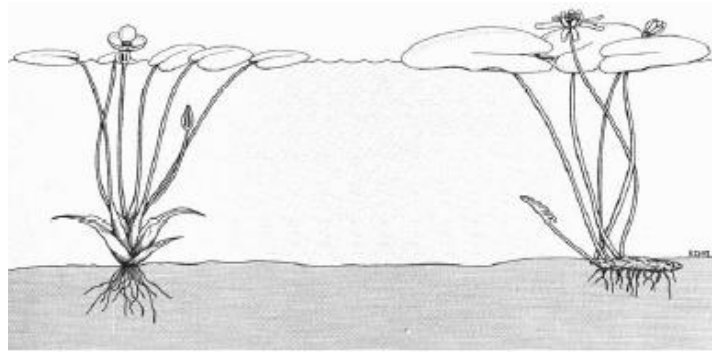


Figura 8 – (3.b) Macrófitas flutuantes enraizadas (Vymazal and Kropfelová, 2008 apud Sainty and Jacobs, 1981, desenhadas por David Mackay).

3.3.2 Função da vegetação no sistema de wetlands

As macrófitas aquáticas têm influência direta no metabolismo dos ecossistemas aquáticos, nos quais se baseiam o princípio do tratamento de efluentes com uso de wetlands. Esteves (1998) descreve o modo como as macrófitas atuam sobre o metabolismo dos sistemas aquáticos, da seguinte forma:

1. Redução da turbulência das águas pelas plantas, o que ajuda na sedimentação de sólidos;
2. Plantas, principalmente as enraizadas, atuam através o efeito “bombeamento” na qual as raízes absorvem nutrientes das partes profundas e os trazem até a superfície, tornando-os disponíveis para outros agentes, realizando o processo de ciclagem dos nutrientes;
3. Alta produtividade primária, tornando-se o principal produtor/ consumidor de matéria orgânica;
4. Fator fundamental na cadeia herbívora e detritívora para muitas espécies animais (ESTEVES, 1998 apud MULLER-LLEBENAU, 1956, SCULTHORPE, 1985).
5. A associação das macrófitas com bactérias e algas perifíticas, fixadoras de nitrogênio, atuam diretamente na transformação de nitrogênio assimilável.

3.4 Dimensionamento de wetlands

Os projetos de estação de tratamento de efluentes primeiramente passam por uma etapa de planejamento, fundamental em qualquer atividade. Nessa fase, estudam-se os modelos mais adequados considerando-se os aspectos: técnicos,

econômicos, ambientais e sociais. A comparação entre modelos de tratamento na fase de planejamento é essencial, principalmente, por haver, em muitos casos, a necessidade de associação de mais de uma tecnologia, a fim de que se atinjam as premissas já descritas acima.

O sistema de wetlands é um exemplo de que a associação entre tecnologias de tratamento pode trazer inúmeros benefícios, principalmente, relacionados à redução de custos e eficiência na remoção de matéria orgânica e nutrientes.

Cano (2010), após extensa pesquisa sobre dimensionamento de wetlands piloto no Brasil, chegou a modelos mais usuais para sistemas de fluxo vertical e fluxo horizontal, conforme ilustrado nas figuras 9 e 10. De forma geral, a vegetação mais usada é a *Typha sp* em um recheio de brita nº 01 e areia para um sistema que opera dois e meio a três dias de tempo de detenção hidráulica com declividade de 1% do leito.

O autor também deixa claro que existe uma falta de uniformização no dimensionamento em sistemas de wetlands, não havendo um modelo definido no Brasil ou em países de clima tropical, fruto da adoção de diversos critérios construtivos, necessitando de mais estudos para definição de uma padronização.

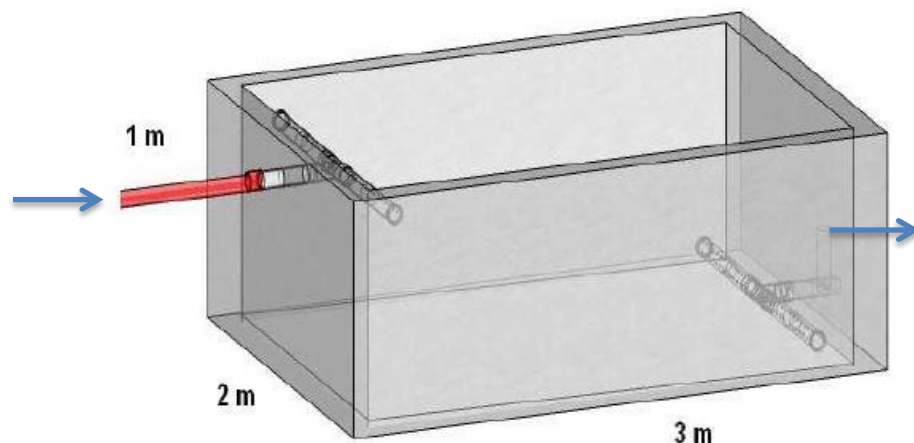


Figura 9 – Modelo construtivo de wetlands construídas em escala piloto de fluxo horizontal (CANO, 2010)

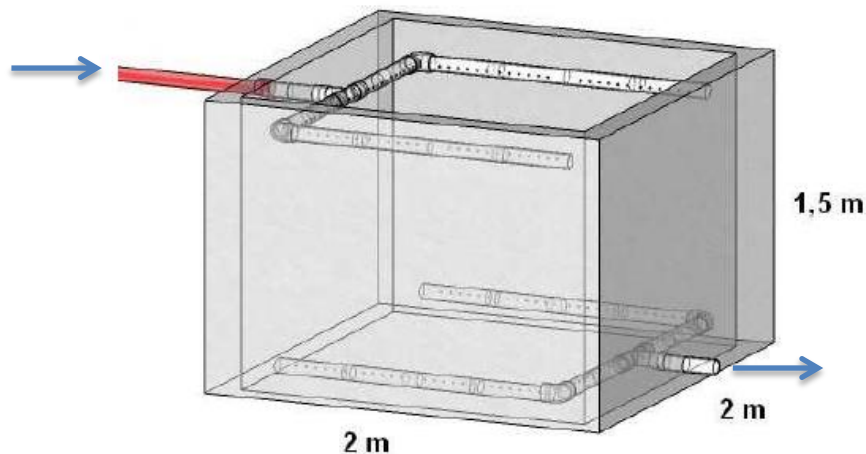


Figura 10 – Modelo construtivo de wetlands construídas em escala piloto de fluxo vertical (CANO, 2010)

Implantar sistemas piloto é uma ótima alternativa para avaliar qual é o melhor perfil de wetlands para um determinado tipo de efluentes, até mesmo para comprovar sua eficiência e adaptação às características locais, ainda mais quando há um baixo acervo de pesquisas específicas, situação aplicável ao efluente gerado pelo setor sucroenergético.

Melo e Lindner (2013) trazem um trabalho prático de comparação técnica-econômica, entre a implantação de lagoas e de um wetlands, para tratamento de efluente sanitário de uma cidade de Santa Catarina abrangendo uma população de 1.800 habitantes. Os sistemas a serem comparados são um tratamento composto de uma lagoa anaeróbica e uma lagoa facultativa em série, denominado Sistema Australiano, e um wetlands horizontal de fluxo subsuperficial posteriormente a um tanque séptico e um filtro anaeróbico. Os resultados demonstram que a opção do conjunto de tanque séptico, filtro anaeróbico e wetlands construídas é mais vantajoso financeiramente tanto na implantação (menor área) como na operação do sistema.

Mendonça (2011) traz diversos aspectos fundamentais usualmente utilizados para dimensionamento de wetlands, relacionados à hidráulica, remoção carbonácea e dimensionamento do leito. Esses aspectos, fundamentais em um projeto de estação de tratamento de esgoto, podem ser calculados por equações matemáticas, as quais estão descritas a seguir.

O aspecto hidráulico do sistema pode ser calculado pela condutividade hidráulica do meio saturado em consórcio com o gradiente hidráulico (Lei de Darcy), como observado na formula 3.1 através da determinação da área transversal.

Aspectos hidráulicos

$$At = \frac{Q}{Ks.S} \quad (3.1)$$

Onde:

At = Área Transversal (m²)

Q = Vazão (m³ d⁻¹)

Ks = Condutividade hidráulica do substrato (m³ m⁻²d⁻¹)

S = declividade do leito ou gradiente hidráulico (m m⁻¹)

Brasil & Matos (2008) realizaram um experimento com a instalação de quatro wetlands de fluxo horizontal subsuperficial em paralelo para tratamento secundário de efluentes domésticos durante um período de 285 dias. A vegetação utilizada foi a *Typha sp* plantada em um meio suporte de Brita 0 (Diâmetro – D₆₀=7,0 mm) com um volume de vazios de 48,4%, declividade do sistema de 0,5% para a wetland I, 1,0% para as wetlands II e III; 1,5% para a wetland IV, na qual todas atingiram uma profundidade final de 0,28 metros. O estudo demonstrou que a condutividade hidráulica (*Ks*) tem um decaimento com o passar do tempo e atingiu valores finais para a wetlands I de 8.392 m³ m⁻²d⁻¹, wetlands II de 9.099 m³ m⁻²d⁻¹, wetlands III de 9.202 m³ m⁻²d⁻¹ e para a wetlands IV de 9.885 m³ m⁻²d⁻¹.

A determinação da área transversal do sistema permite o cálculo da largura do leito (3.2), possível após a indicação da profundidade ideal para o sistema. A profundidade a ser aplicada ao sistema de wetlands pode ter grande variação, pois está relacionada ao tipo de meio suporte e vegetação ser implantada.

A profundidade utilizada para wetlands de fluxo horizontal nunca é superior a um metro e em média varia entre 0,30m e 0,80 m, como pode ser constatado em experimentos testados por Souza et al. (2000), Platzer (2007), Monteiro (2009), Cano (2010) e Chagas et al. (2011).

Largura do Leito

(3.2)

$$L = \frac{At}{p} = \frac{Q}{K_S \cdot S \cdot p}$$

Onde:

L = Largura (m)

P = Profundidade (m)

Aplicando as fórmulas descritas por Mendonça (2011) é possível obter as dimensões de um sistema wetlands de fluxo horizontal com meio suporte a partir de dos aspectos hidráulicos ideias para operação do sistema.

Chagas et al. (2011) ao utilizar um conjunto de quatro wetlands piloto de fluxo horizontal com dimensões de 24,00 metros de comprimento, 1,0 metro de largura e 0,30 metro de profundidade com meio suporte de Brita # 0 (índice de vazios de 48,4%) e vegetação de lírio amarelo (*Hemerocallis Flava*), implantadas para tratamento de esgoto sanitário, a fim de obter ajustes do modelo matemático da cinética de primeira ordem para remoção de matéria orgânica (DQO) e seus respectivos parâmetros cinéticos, afirma que a equação 3.5 descreveu adequadamente a cinética de remoção de matéria orgânica nos sistemas avaliados,

Modelo de remoção de primeira ordem

(3.3)

$$\frac{S}{S_0} = e^{(-K_v \cdot t^n)}$$

Onde:

S - concentração de efluente, mg L⁻¹ (DQO)

S₀ - concentração de afluente, mg L⁻¹ (DQO)

K_v - coeficiente de decaimento do poluente, d⁻¹

t - tempo de detenção hidráulica, d

n - coeficiente associado ao aumento da resistência à degradação do material orgânico remanescente e às alterações hidrodinâmicas no sistema, adimensional.

Os resultados do estudo de Chagas et al. (2011) associando diferentes cargas orgânicas e tempos de detenção hidráulica obtiveram coeficientes de decaimento dos poluentes e coeficiente associado ao aumento da resistência à degradação do material orgânico remanescente e às alterações hidrodinâmicas no sistema, conforme descrito no Quadro 2.

Quadro 2 - Resultados obtidos através de estudo de wetlands piloto

Wetlands	Esgoto Doméstico	TDH (d)	Taxa de Carregamento Orgânico (Kg ha-1d-1)	Kv - Coeficiente de decaimento dos poluentes (d-1)	n - Coeficiente associado ao aumento da resistência à degradação do material orgânico
1	Tratamento Primário	3,9	44	0,45	0,448
2	Tratamento Primário	2,0	98	0,69	0,107
2	Tratamento Primário	1,0	230	1,23	0,327
4	Tratamento Preliminar	0,75	395	1,72	0,461

Fonte: Adaptado de Chagas et al. (2011)

Segundo Chagas et al. (2011), o Coeficiente de decaimento dos poluentes apresentados nas wetlands 1 e 2 estão abaixo da média encontradas nas literaturas, já os dados obtidos para os experimentos 3 e 4, assim como os valores para n estão dentro das faixas adotadas.

O uso da fórmula (3.3) apresentada por Chagas et al. (2011) possibilita o dimensionamento do sistema de wetlands através da necessidade de remoção de matéria orgânica do sistema para atingir a porcentagem exigida. Para isso são utilizados dados reais de coeficientes obtidos em sistemas piloto, o que traz uma confiabilidade maior ao pré-dimensionamento.

Outro fator preponderante em projetos de wetlands é referente à porosidade do substrato ou índice de vazios pode ter grande variação devido às inúmeras possibilidades a serem aplicadas no projeto de construção de uma wetlands. Alguns exemplos mais comuns são areia grossa, pedrisco, brita de diversas dimensões, bambu em pedaços, entre outros. Monteiro (2009) encontrou porosidades para brita 0 de 52% e para areia grossa de 39,2%; Zanella (2009) utilizou Brita 1 com índice de vazios de 44,7% e bambu com 73,4%.

As equações apresentadas anteriormente embasam tecnicamente projetos de wetlands e são utilizadas mundialmente para dimensionamentos desses sistemas, porém não há um modelo definido como padrão.

3.5 Aplicações do sistema de wetlands no tratamento de efluentes

O uso de wetlands naturais para tratamento de esgoto sanitário é conhecido desde o século XVIII em países da Europa e Estados Unidos. Denominadas fazendas de esgoto foram usadas como primeira prática de controle de poluição. Já no século XX se tornaram mais comuns, passando a serem utilizadas em maior escala para tratamento de efluentes (METCALF E EDDY, 1991 apud SILVA, 2007)

Atualmente a aplicação dessa tecnologia para tratamento de efluentes tomou moldes muito mais abrangentes e são aplicados tanto no tratamento de esgoto sanitário, como também para tratamento de efluentes industriais de diversos setores.

Salati et al. (2009) discorrem sobre uma série de usos do sistema de wetlands de sucesso no Brasil. A grande maioria foi aplicada para tratamento de esgoto sanitários, porém há experiências também com despoluição de águas fluviais, tanto para possibilitar tratamento convencional de água potável, como também visando melhorar a classe do corpo hídrico. Existem estudos com efluentes industriais em variadas atividades como curtumes, empresas de papel e celulose e unidades produtoras de açúcar e etanol.

A wetlands implantada em uma empresa produtora de açúcar e etanol utilizou o sistema de Despoluição Hídrica do Solo (DHS) de fluxo descendente com uma área de 10.000 m². O tratamento primário empregado antes do sistema de wetlands foi constituído por lagoa de decantação. A vazão do efluente em média foi de 200 l/s e o sistema atingiu uma eficiência para remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) igualmente de 70% (SALATI et al, 2009) .

Billore et al. (2001) apud Vymazal and Kropfelová (2008), apresentam uma experiência de wetlands construídos de fluxo horizontal para tratamento secundário de efluentes em uma destilaria de etanol na região central da Índia. O sistema de tratamento é composto por um pré-tratamento seguido por wetlands de fluxo

horizontal de 364 m² plantados com *Typha latifolia* e *Phragmites Karka*. Ele destaca que o efluente de destilarias tem teores de DBO e DQO respectivamente de 2.540 mg/l e 13.866 mg/l, salientando que sistemas convencionais não são suficientes para atingir os limites exigidos e demandam um polimento. O sistema de wetlands implantado posteriormente ao sistema de tratamento secundário apresenta eficiências para DBO, DQO e Nitrogênio. Fosforo e potássio respectivamente de 64%, 84% e 59% respectivamente e os estudos indicaram ser viável a sua implantação.

As experiências descritas por Salatti et al. (2009) e Billore et al. (2001) apud Vymazal and Kropfelová (2008), com o uso de wetlands para tratamento de efluentes provenientes de unidades sucroenergéticas, com sucesso principalmente na remoção de carga orgânica, reforça a tese da aplicabilidade desse sistema na tratabilidade do efluente discutidas neste estudo de caso. São necessárias pesquisas também com a aplicação de wetlands para outros efluentes, já que as pesquisas acima não fornecem dados suficientes para auxiliar no dimensionamento e também na prevenção de problemas operacionais relacionados a wetlands de fluxo horizontal.

Souza et al. (2000) comprovaram a satisfatória utilização de wetlands horizontais como pós tratamento de reatores UASB para esgoto sanitário. Implantaram-se quatro pilotos em série, os quais receberam cargas hidráulicas diferentes (4,5; 3,3 e 2,3 cm dia⁻¹) com um tempo de detenção hidráulico variando de 5 a 10 dias. Os sistemas foram cultivados com macrófitas emergentes (*Juncus sp*) e o meio suporte utilizado foi a areia grossa em uma altura de 0,6 m. Os sistemas operaram durante um período de vinte e seis semanas e os resultados foram muito satisfatórios, com faixas de remoção de carga orgânica variando de 76% a 84%. A eficiência na remoção de nutrientes foi ainda mais significativa variando de 76% a 87 % para nitrogênio e 78% a 100% para fósforo.

Monteiro (2009) utilizou um sistema de wetlands para tratamento de águas cinza (sanitários, lavagem de uniformes e vestiário), provenientes de instalações de um laboratório de pesquisa da Universidade Politécnica de São Paulo, SP. A wetlands foi construída com dimensões de 6 metros de comprimento, 1,2 metros de largura e 0,6 metros de profundidade com preenchimento de Brita 1 na primeira

metade e areia grossa na segunda, para atuar de forma subsuperficial com fluxo horizontal com um tempo de detenção hidráulica de aproximadamente 3,74 dias. As espécies utilizadas no projeto foram divididas em dois grupos de acordo com o meio suporte, sendo plantadas na zona com Brita 1 espécies mais adaptadas a altas cargas orgânicas (*Cyperus Alternifolios* – Sombrinha chinesa, *typha sp* - Taboa e *Cyperus papyrus* – Papiro) e na zona com meio suporte de areia grossa foram introduzidas plantas como maior apelo estético (*Equisetum sp* – Cavalinha, *Zantedeschia aethiopica* – Copo de Leite, *Cymbopogon sp* – Citronela, *Pontederia Cordata* – Pontederia, *Iris Pseudacorus* – Íris Amarela, *Saururus sp* – Rogéria, *Coix Lacryma* – Conta, *Costus sp* – Cana do brejo, *Echinodorus sp* – Chapéu de couro, *Sagittaria montevidensis*, *Eleocharis interstincta*, *Eleocharis nudipes*, *hydrocotyle ranunculoides*). As taxas de aplicação média por sistema de matéria orgânica variaram de 99 ± 33 gDQO/dia, 57 ± 22 gDBO/dia, de nutrientes entre 49 ± 37 g P/dia, $4,9 \pm 1,1$ gN/dia e hidráulica de 49 ± 9 mm.

Os resultados foram satisfatórios com uma remoção média de 60% para DBO e DQO e de 84% para Fósforo total, já o Nitrogênio Kjeldahl Total alcançou taxas de remoção próximas a 27%. O estudo demonstrou também que o aumento do tempo de detenção hidráulica é mais favorável para a remoção de nutrientes do que de carga orgânica.

Cano (2010) implantou três sistemas piloto de wetlands para pós-tratamento de efluentes domésticos após passagem por um reator UASB, responsável pelo tratamento do esgoto gerado na escola de Artes da universidade de São Paulo, SP. Dois dos sistemas operaram por fluxo vertical e um por fluxo horizontal, utilizando macrófitas emergentes da espécie *Thifa sp*. O sistema de fluxo horizontal foi projetado com dimensões de 1,1 de profundidade, 1,1 de largura e 2,36 de comprimento atuando com um tempo de detenção hidráulica de 1 a 3 dias. Utilizou-se como meio suporte brita #1 (diâmetro variando entre 5 e 20 mm e espaços vazios na ordem de 45%) nas entradas e saídas do efluente e “pedrisco” (diâmetro variando entre 3 e 10 mm e porosidade de cerca de 40%) como preenchimento dos sistemas. As unidades verticais apresentaram reduções de 10% a 76% para nitrogênio e de 34% a 44% para fósforo, já a unidade horizontal obteve uma variação de 7% a 40%, além de redução da turbidez e oxigenação do efluente.

Mendonça (2011) propôs a utilização de sistemas piloto de wetlands para testar a eficiência desse modelo de tratamento para efluentes de alta carga orgânica gerados em uma indústria de laticínio. O modelo escolhido foi de fluxo horizontal por batelada com recheios variando entre brita 0 e areia com vegetação composta de *Typha dominguensis* (taboa) e o *Hedychium coronarium* (lírio-do-brejo). Foram utilizados tambores de 200 litros cortados na vertical como suporte para o piloto com raio de 0,31 metros e comprimento de 1,1 metros. A carga orgânica aplicada em cada um dos 6 pilotos foi de 232 kg/ha.d. com um TDH (Tempo de Detenção Hidráulica) de dois dias e a eficiência na remoção de carga orgânica variou de 77 % a 95%; já com nitrogênio e fósforo a eficiência variou respectivamente entre as faixas de 29,4 a 53,5% e 16,8 a 48.2%, comprovando a eficácia do sistema para tratamento de efluentes de laticínios.

O Quadro 3 faz um resumo das principais informações descritas pelos autores citados acima, relacionados aos dados de projeto e operação dos sistemas de wetlands de fluxo horizontal.

Quadro 3 - Resumo dos dados de projeto e operacionais utilizados em sistemas de wetlands de fluxo horizontal.

Autores	Efluente	Altura do do meio suporte (m)	Meio Suporte	Vegetação	Tempo de detenção Hidráulico (dias)	Eficiência (%)		
						DBO	Nitrogênio	Fosforo
Souza et al (2000)	Esgoto Sanitário	0,6	Areia Grossa	<i>Juncus sp</i>	5 a 10	79 a 84%	76 a 87%	76 a 100%
Monteiro (2009)	Esgoto Sanitário	0,6	Brita 1 e areia Grossa	<i>Cyperus papyrus, typha sp, entre outras</i>	3,74	60%	27%	84%
Cano (2010)	Esgoto Sanitário	1,1	predrisco	<i>typha sp</i>	1 a 3	-	0%	7 a 73%
Mendonça (2001)	Esgoto Sanitário	0,31	Brita 0 e areia grossa	<i>typha sp e Hedychium coronarium</i>	2	77 a 95%	29 a 53%	16 a 48%

Fonte: Souza et al. (2000), Monteiro (2009), Cano (2010), Mendonça (2011)

Platzer (2007) destaca em seu trabalho as vantagens de wetlands como operação econômica, flexibilidade com vazões de carga e integração com a paisagem natural, mas destaca a necessidade de uma distribuição correta do efluente e a escolha do melhor material filtrante para evitar colmatação. Ele adotou um piloto de wetlands vertical por batelada com dimensões de 3,7 metros de comprimento, 1,2 metros de largura e 0,80 metros de profundidade com um leito de areia. O trabalho foi realizado em duas fases, na qual a Fase 01 utilizava uma carga

hidráulica de 146 L/m².d. e carga orgânica de 0,028 kg DBO5/m².d. e a Fase 02 uma carga hidráulica de 205 L/m².d e carga orgânica de 0,035 kg BOD5 / m².d.

O sistema operou sem problemas de colmatação mesmo com as altas cargas orgânicas aplicadas e alcançou remoção de 0,23 kg DBO5/ m². d. (85%) de carga orgânica e 84% de nitrificação na Fase 01, alcançando resultados ainda melhores na Fase 02 com 0,32 kg BOD5 /m². d. (92%) e 89% de nitrificação.

Biudes (2007) implantou um sistema de wetlands flutuantes utilizando como vegetação a *Eichhornia crassipes*, denominada popularmente como aguapé, para tratamento de efluentes provenientes de carcinicultura. O sistema foi projetado com a utilização de 15 tanques operando em série de dimensões de dois metros de comprimento, um metro de largura e 0,5 metro de profundidade com um tempo de detenção hidráulica variando de dezesseis horas a uma hora. O resultado foi satisfatório para remoção de nutrientes com média de 4,81 g de NKT (Nitrogênio Kjeldahl Total).dia⁻¹; 1,90 g de NKD (Nitrogênio Kjeldahl Dissolvido).dia⁻¹; 1,47 g de NI (Nitrogênio Inorgânico).dia⁻¹; 1,40 g de PT (Fosfato Total) ().dia⁻¹; 0,43 g de PD (Fosforo Dissolvido).dia⁻¹; 0,23 g de PPO4 (P-Ortofosfato).

O autor ainda destaca o uso de wetlands para tratamento de efluentes de aquicultura com uma boa alternativa para remoção de nitrogênio, fósforo e materiais particulados em suspensão, porém salienta a importância de estudos mais aprofundados para o uso desse sistema em escala comercial, principalmente pela necessidade de manejo da biomassa gerada e atendimento dos limites estipulados para lançamento de efluentes em corpos hídricos.

Como discutido anteriormente por diversos autores e seus experimentos, a aplicação do sistema wetlands para tratamento de efluentes com características orgânicas, industriais ou domésticos, apresentam resultados satisfatórios para redução de carga orgânica, Nitrogênio e Fósforo.

Esses sistemas, em contrapartida, podem também apresentar alguns problemas em sua operação, entre eles, a proliferação de vetores, principalmente insetos, e a colmatação do meio filtrante devido à carga de sólidos.

Malan (2009) em um estudo realizado na África do Sul destaca a importância das wetlands, construídas ou naturais, para melhoria da qualidade das águas; porém em contrapartida chama a atenção para a criação de um local propício à proliferação de vetores, entre eles os mosquitos transmissores da dengue, malária e febre amarela. Assim, traz algumas alternativas de controle dos vetores, e destaca de forma categórica a importância de implantá-los e mantê-los operando em conjunto com o funcionamento do sistema.

Silva (2007) implantou sistemas pilotos de wetlands com fluxo vertical utilizando arroz como vegetação para tratamento de esgoto doméstico primário. Foram utilizados tambores plásticos de 200 litros com dimensões de 0,87 metros de altura, 0,26 metros de diâmetro interno e área superficial de 0,26 m² preenchidos com uma mistura de areia média e latossolo vermelho-amarelo. As vazões de efluente variam de 40 a 10 litros por dia aplicados de forma intermitente. O estudo apontou que o sistema de wetlands para tratamento de esgoto doméstico é eficiente na remoção de nutrientes e matéria orgânica, porém destaca que houve a colmatação nos sistemas de wetlands devido a fatores como a acomodação das camadas de solo; bloqueios de solo com material suspenso, coloidal e células de algas; crescimento microbiano e produção de carbono extracelular; formação de biofilme na superfície das raízes das plantas; acúmulo de lodo na superfície do solo das plantas e por final o acúmulo de Sódio (Na⁺) e outros sais no solo.

3.6 Parques urbanos

Os parques trazem um contraste entre o meio urbano e o meio rural para as cidades, pois buscam oferecer um local para lembrar as condições naturais ali presentes no passado. Espaços como esses entranhados em meio a vias de trânsito e concreto de prédios e casas oferecem a seus usuários oportunidade de fuga da rotina do dia-a-dia, com condições para contemplar a fauna e a flora, praticar esportes e até servir de sala de aula ao ar livre. Não se pode deixar de destacar os benefícios desses locais para o meio urbano como um todo, pois atuam no controle da poluição atmosférica, ajudam a amenizar a temperatura através de árvores e lagos, podem ser utilizados como esponja para controlar enchentes, são responsáveis por reduzir a poluição sonora e deixam as cidades mais agradáveis visualmente.

As wetlands artificiais construídas com foco em tratamento de efluentes, por se assemelharem a condições naturais de banhados ou áreas brejosas, reconhecidas por apresentar uma beleza cênica atraente aos olhos, com presença de uma flora variada e berço para algumas espécies da fauna, também podem oferecer benefícios semelhantes a parques urbanos, portanto com possibilidade da criação de um sistema de wetlands operando também como um parque aberto a visitação pública.

3.6.1 História dos Parques Urbanos

A história dos parques urbanos tem sua impulsão no século XIX, atrelado à revolução industrial e crescimento das cidades. Esses locais, já não estavam somente em propriedades privadas, mas abertos ao público, cujas demandas da população se davam para práticas de lazer, caminhadas, estudos científicos e até para sanar exigências básicas de higiene. Neste período a cidade de Londres adicionou 600 hectares de jardins a seu espaço urbano e Paris, França, criou espaços que incluíam áreas para prática de esportes, concertos, danças e exposições (MENCHERO, 2009).

O Brasil não seguiu a tendência comportamental europeia quanto à criação de parques, pois ainda não possuía uma rede urbana ampla e os poucos parques existentes eram apenas uma extensão do cenário das classes mais altas. Ao final do século XIX o conceito urbanístico de parques começa estar presente na cidade de São Paulo, período no qual são construídos os Parques Dom Pedro II e Anhangabau. O século XX, principalmente em sua segunda metade, marca a consolidação da arquitetura paisagística brasileira, período no qual o ato de projetar espaços livres, áreas de lazer para a população torna-se um trabalho e também há um distanciamento da cultura europeia, tão impregnada na cultura nacional e evidente nos projetos já implantados (SCOCUGLIA, 2009; ELIAS E PEQUENO, 2007 e MACEDO, 1999 apud SILVA & PASQUALETO, 2013).

A transição do século XIX com o século XX marca o início do urbanismo sanitário atrelado ao aspecto estético-paisagista no Brasil, tendo seu principal mentor Saturnino de Brito, urbanista responsável pela implantação de diversos projetos direcionados a estética urbana unindo saneamento, melhoramentos e

expansão das cidades, tendo como exemplo as cidades de Santos - SP, Recife - PE, Vitória - ES, entre outras. Os projetos têm como característica central a preocupação com o tratamento da paisagem urbana como uma visão de uma cidade saudável, sempre focando na cidade como um todo (ARRUDA & SÁ CARNEIRO, 2006).

No século XX, dá-se o surgimento de uma influência paisagística local, consolidando a ideia de uma cultura própria e moderna na criação de parques e jardins, tendo como seu grande nome Roberto Burle Marx, responsável por grandes obras paisagísticas no Brasil e no mundo. Floriano (2007) considera Burle Marx como o maior paisagista do século XX, descrevendo o que sua obra representa como:

“A obra de R. Burle Marx representa neste sentido uma postura limite na arte paisagística do século XX, modelo por sua coerência. Fiel a seu princípio criador, foi desenvolvendo uma linha constante, sem cair ou se deixar seduzir pelos modismos de plantão. Partindo da fascinação pela flora tropical e o sensu alismo das cores e das formas, recriou o jardim ocidental com abstração e cor, dois fatos evidentes que demonstram sua tenaz persistência nos mesmos princípios perseguidos pelos artistas modernos.”

Macedo (2003) divide a evolução do paisagismo brasileiro em três etapas. A primeira etapa é basicamente regida por Burle Marx com suas representações geométricas e uso de vegetação nativa, período no qual surgiram obras como o Parque da Pampulha em Belo Horizonte, Minas Gerais. A segunda etapa caracterizada por uma transição entre o conceito de Burle Marx e o início da influência americana, tendo como nomes de destaque os paisagistas Roberto Coelho Cardoso e Otávio Mendes Teixeira, este último responsável pelo projeto do Parque do Ibirapuera em São Paulo, São Paulo, considerado o primeiro parque urbano Modernista no Brasil. Já a terceira etapa, ocorre após os anos 60, e é assinalada pelo rompimento com os conceitos paisagísticos europeus, cujo foco passa a ser o uso do espaço para atividades recreativas.

3.6.2 As funções de Parques Urbanos

Os parques urbanos em geral causam um contrassenso no meio urbano, por proporcionarem uma fuga do que ocorre ao seu redor, geralmente cercados de

prédios, avenidas, carros, se tornando um “abrigo” para seus usuários. Esses locais, em geral, proporcionalmente diminutos quando comparados aos outros usos empregados ao solo nas cidades, têm funções fundamentais para qualidade de vida das pessoas, mesmo para as que não usufruem diretamente dos seus benefícios.

Oliveira et al. (2014) realizaram um extenso estudo, no qual utilizaram dois parques em regiões centrais e seus entornos, localizados na cidade de Lisboa, cujo objetivo foi avaliar a influência térmica desses locais em diferentes estações do ano, assim como a preferência dos seus usuários de acordo com a vegetação, microclima, facilidade e condições. A pesquisa concluiu que essas áreas verdes formam “ilhas frescas” melhorando o conforto térmico nos arredores mais próximos, pois eles mitigam efeitos de ondas de calor, reduzem os ruídos e a poluição, promovem oportunidade de contato social entre as populações locais e turistas, assim como atraem pessoas com diferentes interesses, proporcionando uma mudança na dinâmica social e econômica na área urbana.

Bargos e Matias (2011) dividem as funções das áreas verdes urbanas em seis grandes grupos, que estão descritos abaixo:

- Social: Prática de atividades voltadas ao lazer da população;
- Estético: diversificação da paisagem e beleza cênica para as cidades;
- Ecológica: melhora o clima, ar, água, solo além de proporcionar zonas de absorção de água pluvial e fauna mais rica devido à vegetação;
- Educativa: locais para atividade extraclasse e de educação ambiental;
- Psicológica: locais para práticas de atividades “anti-stress” como lazer, recreação e relaxamento, aproveitando a paisagem ao entorno.

Outra função muitas vezes não associada a áreas verdes urbanas é a econômica, já que esses locais valorizam o seu entorno monetariamente e também exigem aporte financeiro para mantê-los aptos para serem usufruídos pelos visitantes. Hildebrand et al. (2001) reconhece a importância econômica das áreas verdes urbanas e propõem uma forma de medição, através de um método

denominado valoração contingente ou disposição a pagar, que de forma simplista propõem levantar o quanto um usuário estaria disposto a pagar para usufruir desse benefício natural e o quanto ele estaria disposto a receber pela perda desse bem. Isso destaca a importância econômica dessas áreas e o quão fundamental é sua presença no meio urbano.

3.6.3 Exemplos de parques urbanos e suas semelhanças com wetlands

Parques urbanos com frequência usam da água como um atributo paisagístico de destaque em sua composição, através da conciliação de lagos e espelhos d'água a canteiros compostos de árvores, arbustos e flores, proporcionando aos seus usuários belas paisagens. Esse modelo aproxima os parques ao sistema de tratamento de wetlands, que também pode proporcionar a uma combinação da água de diversos modos com vegetação de cunho paisagístico.

Um exemplo emblemático de parque urbano que associa áreas verdes, espelhos de água e instalações de cunho cultural, social e educacional, além de outras diversas funções é o Parque da Pampulha, existente na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais. Araujo (2014) discorre que o início do parque se deu pelo barramento do córrego da Pampulha para uso de fins de abastecimento, somente após a criação do lago surgiu à ideia de implantar um parque com objetivo de embelezamento da cidade, criação de área de lazer e também de direcionar a expansão imobiliária para a zona sul da Cidade. O projeto foi fomentado pelas obras de Niemeyer e os jardins de Burle Marx (Ver Figura 11).



Figura 11 – Jardim projetado por Burle Marx restaurado na Lagoa da Pampulha.

Fonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 2013.

Outro exemplo de parque urbano de grande representatividade é o Parque do Ibirapuera, São Paulo, SP. Pombo (2015) traz uma órbita diferente na análise da implantação de um dos mais emblemáticos parques existentes no Brasil. O estudo aborda um diagnóstico da área pré-implantação do parque, com características de fundo de vale e zonas brejosas, responsável pela absorção da drenagem de bairros circunvizinhos, até a implantação dos lagos existentes hoje. Também é avaliada a importância dos lagos para com o paisagismo do parque e a interação das pessoas com eles. Conclui-se que a criação dos lagos foi uma alternativa eficaz para captar e direcionar as águas que irrigam esta região e ao mesmo tempo transformou o local em uma região de beleza única na cidade, atrativa para moradores e turistas (Ver Figura 12).



Figura 12 – Vista dos lagos do Parque do Ibirapuera, São Paulo, SP.

Fonte: Parque do Ibirapuera, 2016.

Seguindo a linha de parques de expressão em grandes cidades com uso de espelhos d'água em sua composição, destaca-se também o Parque Barigui, localizado em Curitiba, PR. Souza (2005), descreve que a criação do parque ocorreu em 1972, após inúmeras ocorrências de enchentes provocadas pelo Rio Barigui na região, a alternativa encontrada foi à criação de um local para controle de vazão e também para fornecer a população um centro de lazer. Hoje, o parque tem uma área de 1.400.000 m² utilizada para práticas de variados esportes, e contempla também estruturas para lazer e entretenimento, considerado o parque com maior visitação da cidade (Ver Figura 13).



Figura 13 – Vista do Parque Barigui, Curitiba, PR.

Fonte: Editora Abril, 2016.

3.7 Interação entre wetlands e zonas urbanizadas

As wetlands não seguem uma linha padrão em termos arquitetônicos das estações de tratamento de efluentes tradicionais, sejam elas por lagoas ou de obras civis mais complexas, como reatores UASB ou sistema de lodos ativados. A utilização de plantas, muitas vezes de espécies ornamentais, aplicadas mundialmente em jardins de praças e residências, faz com que se crie um aspecto suave e paisagístico a esse sistema.

Essa aptidão não pode ser ignorada, ainda mais devido à deficiência de áreas de lazer nas cidades para uso da população, possibilitando assim a interação desses sistemas de tratamento com práticas sociais, esportivas e educacionais.

Hannes (2014) ao analisar a importância da construção do Parque da Juventude, na Cidade de São Paulo, SP, sugere a implantação de wetlands nas margens de um córrego que cruza o parque, como parte do paisagismo local, a fim de realçar as questões ambientais e melhorar a qualidade de água do corpo hídrico, conseqüentemente, demonstrando a possibilidade de atrelar um sistema de tratamento com benefícios à qualidade do efluente, como também para o visual do local.

Yamamoto & Canali (2012) trazem casos de sucesso do wetlands para melhoria da qualidade da água de rios e lagos em zonas urbanas, consorciados com a recuperação do paisagismo desses locais, devastados devido ao acúmulo de resíduos, como se deu em Fuzhou, China. Atrelando a isso a situação de Curitiba, Paraná, onde há uma série de wetlands naturais degradadas, com um potencial enorme para melhoria da qualidade das águas da região associados a benefícios a população ao entorno.

Zanella (2008) destaca positivamente o fato do sistema de wetlands poder operar com eficiência como sistema secundário de tratamento de efluentes, além de possibilitar o uso do seu potencial paisagístico para reduzir a rejeição desse sistema. A inserção de plantas ornamentais, como a *Zantedechia Aethiopica* (Copo de leite), *Cyperus Papyrus* (Papiru), *Canna x Generalis* (Biri) e *Cyperus Isocladus* (Mini Papiru), traz a possibilidade de geração de trabalho e conseqüentemente ser uma fonte de renda para as famílias atendidas por esses sistemas.

Brix et al (2007) apresentam um estudo de caso de sucesso sobre wetlands existente na ilha turística de Koh Phi Phi, Tailândia, arrasada por um tsunami no ano de 2004. O governo local buscou meios para restabelecer os sistemas de tratamento de efluentes gerados. A alternativa encontrada foi a implantação de um sistema de wetlands construído ao entorno de hotéis e lojas existentes na zona turística da ilha, de forma a fazer parte do paisagismo local e otimizar os espaços. O sistema com capacidade para tratamento de 400 m³/dia, conciliou wetlands de fluxo horizontal subsuperficial, fluxo vertical e com espelho d'água aparente, formando arquitetonicamente um mosaico de uma borboleta pousada em uma flor, como pode ser melhor observado na figura 14.

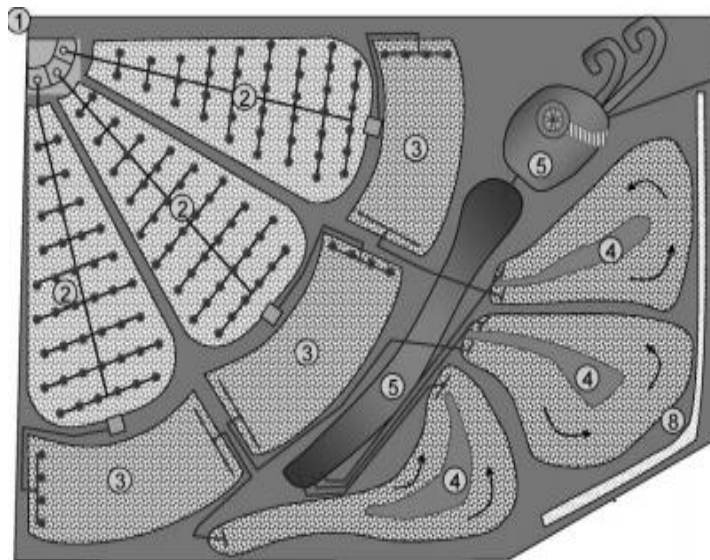


Figura 14 – Croqui do Sistema de wetlands construído em Koh Phi Phi, Tailândia. (01) Sistema de Distribuição, (2) wetlands de Fluxo Vertical, (3) wetlands de Fluxo Horizontal (4) wetlands com espelho d'água aparente, (5) lagoas de Polimento.

Fonte: BRIX et all, 2007

O sistema de wetlands construído para tratamento de efluentes na ilha de Koh Phi Phi é um exemplo claro da possibilidade de que sistemas de tratamento trazem benefícios socioambientais muito além da sua função fim. O belo projeto se adapta perfeitamente ao ambiente turístico, tornando-se mais um atrativo, além de possibilitar o reúso da água para irrigação de jardins dos hotéis ao seu entorno (Ver Figura 15).



Figura 15 – Imagem do sistema de wetlands construídos na ilha de Koh Phi Phi, Tailândia.

Fonte: BRIX et al, 2007

Sundaravadivel e Vigneswaran (2001) apud Vymazal e Kropfelová (2008), apresentam outro exemplo da possibilidade do consórcio de uma wetland implantada em conjunto com parques e praças, no Ekant Park, Bhopal, Índia. Neste caso, é ilustrada a implantação de uma wetlands construída de fluxo horizontal no ano de 2002, para tratamento de efluentes domésticos, com o uso da espécie *Piragmites Karka*, em uma área de 750 m² para uma vazão de 80 m³/dia.

Jonh Todd Ecológica Desing, empresa especializada em projetos que buscam soluções de tratamento de efluentes focadas na sustentabilidade, traz alguns casos de sucesso de interação de sistemas de tratamento utilizando a tecnologia de wetlands com o meio urbano e paisagístico. A revitalização do canal de Baina, cidade de Fuzhou, China, realizado no ano de 2002, inteiramente degradado devido a grande quantidade de efluentes domésticos lançados em suas águas, dominado por fortes odores e visualmente deteriorado, é um caso de sucesso do uso de wetlands associado a áreas de visitação pública, com claros benefícios urbanísticos, sociais e ambientais (Ver Figura 16).



Figura 16 – Vista do Canal Baina, Fuzhuo, China antes e depois da revitalização com a implantação de wetlands.

Fonte: Jonh Todd Ecológica Desing, 2016

Outro projeto que uniu a necessidade de tratamento de efluentes com a criação de um ambiente agradável foi a implantação de wetlands após o tratamento secundário de efluentes domésticos gerados no *National Audubon Corkscrew Swamp Sanctuary*, área de preservação ambiental, localizado no Estado da Flórida, EUA. O parque recebe mais de cem mil visitantes por ano, o que ocasionou um problema devido ao volume de efluentes gerados, o qual foi solucionado através da implantação de um sistema de tratamento consorciado com implantação de wetlands, possibilitando o reúso da água e tornando o local mais um atrativo do parque (ver Figura 17)



Figura 17 – Wetlands construídas para polimento de efluentes gerados do National Audubon Corkscrew Swamp Sanctuary, localizado no estado da Flórida, EUA.

Fonte: Jonh Todd Ecológica Desing, 2016

O escritório de arquitetura Turescape, com sede em Beijing, China, traz em sua página na internet diversos projetos implantados de parques urbanos associados a wetlands, a fim de proporcionar às cidades chinesas, cujo crescimento foi vertiginoso nas últimas décadas, ambientes que associem benefícios urbanos, como controle de enchentes, melhor qualidade de rios, preservação de ambientes naturais, com atrativos de lazer às comunidades.

O Quzhou Luming Park está localizado na margem do rio Shiliang, Província de Zhejiang, cuja população se aproxima de 2,5 milhões, foi projetado pela Turescape com um conceito de recuperar uma área à margem de um rio e campos agrícolas devastados transformando-os em um ambiente agradável para a vida urbana. O projeto foi muito além, já que incluiu no conceito o uso de uma agricultura de rotação com tipos de produção de acordo com a época do ano. Utilizando-se do potencial paisagístico das culturas, preservou as condições naturais do ambiente, manteve o sistema de drenagem existente, potencializado com a implantação de valas para captação de água pluvial associada a filtros naturais (wetlands), com o objetivo final de aumentar a consciência global sobre o meio ambiente, como pode ser observado na figura 18. (**Fonte:** <http://www.turescape.com/project/detail/435.html> acessado em 07/07/2016).



Figura 18 – Vista Quzhou Luming Park, província de Zhejiang, China.
Fonte: Turenscape, 2015

Mais um exemplo de uso de wetlands como um mecanismo de preservação ambiental associado a funções urbanas, projetado pela Turenscape, foi implantada em um novo distrito urbano construído na cidade Haerbin City, província de Heilongjiang, China. A área escolhida para o distrito urbano tem um histórico de inundações, devido estar localizada em uma planície próxima a um pântano devastado. O projeto do Qunli Stormwater Park aplicou soluções para recuperar o pântano e aproveitou de sua aptidão natural para retenção de água, potencializando-a através de técnicas de engenharia e criou um parque urbano com estruturas para visitação, controle de enchentes, melhoria na qualidade de água e preservação das características naturais do local, deixando áreas para pleno desenvolvimento das condições naturais, como pode ser observado nas Figuras 19 e 20 (Fonte: <http://www.turenscape.com/project/detail/435.html> acessado em 07/07/2016).

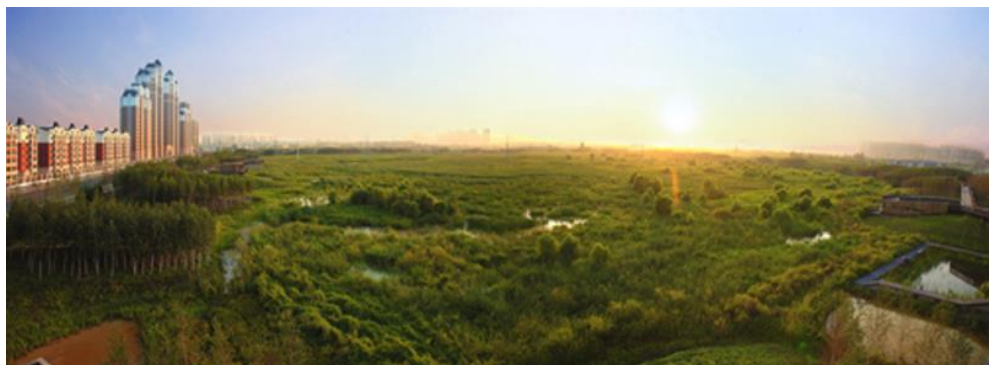


Figura 19 – Vista geral do Qunli Stormwater Park localizado em Haerbin City, província de Heilongjiang, China.

Fonte: Turenscape, 2015



Figura 20 – Vista da infraestrutura instalada no Qunli Stormwater Park para uso da população, localizado em Haerbin City, província de Heilongjiang, China.

Fonte: Turenscape, 2015

O mundialmente conhecido Hong Kong wetlands Park, exemplo de sucesso na interação de wetlands com zonas urbanas, instalado na ilha de Hong Kong como uma forma de mitigação das diversas wetlands naturais que foram substituídas por zonas urbanizadas. O parque foi aberto ao público em 2006 com objetivos de lazer para a população local, trazendo oportunidades de diversificar a experiência de turistas, demonstrar a diversidade ecológica de Hong Kong, como também proporcionar um trabalho de conscientização e educação ambiental ao público (Ver Figura 20). No ano de 2015 o parque recebeu mais de 460 mil visitantes e foi premiado por diversas instituições de engenharia e arquitetura devido ao projeto urbanístico inovador (fonte: <http://www.wetlandpark.gov.hk/en/aboutus/> acessado em 27/09/16).



Figura 21 - Vista do Hong Kong Wetlands Park, Hong Kong, China.

Fonte: Hong Kong Wetland Park, 2016.

3.8 Plano Diretor Participativo de Desenvolvimento Integrado do Município da Estância Turística de Barra Bonita.

A Lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001 (BRASIL, 2001), denominada como Estatuto das Cidades, institui no Brasil um novo modelo de gestão do território urbano em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar do cidadão, assim como do equilíbrio ambiental e para atingir seus objetivos são previstos algumas diretrizes e instrumentos a serem seguidos.

Um dos instrumentos mais importantes impostos por essa nova legislação foi a obrigatoriedade de cidades com mais de vinte mil habitantes elaborarem e aprovarem através de lei municipal o Plano Diretor, ferramenta responsável por direcionar a política de desenvolvimento e expansão urbana no município. Esse documento deve englobar todo território e ser elaborado em conjunto com a sociedade, através de audiências públicas para discussão dos temas, já que isso impactará diretamente a vida dos habitantes nos anos subsequentes.

A Estância Turística de Barra Bonita implantou o Plano Diretor Participativo Integrado do Município através da Lei Complementar nº 75 de 27 de novembro de 2006, como um dos instrumentos básicos para gerir o desenvolvimento econômico, social, urbano e ambiental do município a ser seguido tanto por agentes públicos e privados (BARRA BONITA, 2006).

Dentre diversos princípios estabelecidos nesse documento é possível destacar a promoção de uma cidade sustentável através de uma infraestrutura urbana adequada, meio ambiente preservado, acesso a cultura e lazer para todos; fomento a atividades turísticas sustentáveis e estímulo a novos negócios que se encaixem na vocação do município (BARRA BONITA, 2006).

O documento faz uma divisão em zona rural e zona urbana, como também classifica a zona urbana em macrozonas de acordo com suas características de uso. Essa divisão da zona urbana do município em macrorregiões permite determinar diretrizes específicas, como é possível observar para a Zona IX – Orla urbana, essencial para o desenvolvimento do turismo local, como se descreve nos incisos do Artigo 104:

Artigo 104 - A Zona da Orla Urbana terá como diretrizes:
 I – Promover a requalificação das áreas públicas de forma a valorizar a orla turística;
 II – Implantar projetos e obras que respeitem as características históricas e culturais do município;
 III – Incentivar atividades de entretenimento, com a finalidade de ampliar o fluxo turístico e o consumo de bens e de serviços locais;
 IV – Priorizar a realização de empreendimentos turísticos em áreas não ocupadas da orla turística;
 V – Promover melhorias no sistema de iluminação pública;
 VI – Preservar e recuperar os prédios de interesse histórico e cultural.

O Plano Diretor Participativo Integrado da Estância Turística de Barra Bonita, alinhado com a vocação turística do município, cria um espaço exclusivo para tratar desse tema e nele descreve diversas diretrizes em seu Capítulo IV, Artigo 45, na qual se destacam:

Artigo 45 - No processo de expansão do turismo, o Poder Executivo adotará as seguintes diretrizes:
 [...]
 III - Requalificação dos diversos espaços da orla turística, de modo a compatibilizar seus elementos históricos, culturais e ambientais com futuras intervenções urbanísticas, mantendo as peculiaridades do Município;
 IV - Revitalização de locais e eventos históricos e culturais, de forma a resgatar a identidade turística local e a da comunidade;
 [...]
 IX - Apoio a iniciativas particulares que visem a abertura de estabelecimentos de comércio voltados ao turismo tais como restaurantes, hotéis, pousadas, bares, lanchonetes, entre outros;
 X - Incentivo ao turismo rural e ao agro turismo, integrando-os ao circuito turístico regional;
 XI - Estímulo ao turismo ecológico.

No capítulo a respeito do desenvolvimento do turismo sustentável, também se criam as Áreas e Pontos de Especial Interesse Turístico, delimitados em mapa abrangendo a zona urbana e rural do município, com o objetivo de resguardar as áreas municipais de proprietários que pretendam por ventura destoar dos usos previstos no Plano Diretor

As áreas delimitadas como de especial interesse turístico apresentam os locais em que já se desenvolvem atividades turísticas ou com um potencial de expansão deste viés no município, deixando em aberto a possibilidade de inclusão de novas áreas de interesse caso seja necessário.

Os critérios para delimitação das áreas de interesse turístico foi variado, abrangendo a orla banhada pelo rio Tietê com estrutura para receber visitantes já em uso, bairros com características agrícolas para desenvolvimento do turismo rural, aspectos naturais como o corredor ecológico que margeia a cidade e áreas de preservação de rios, hotéis localizados na zona rural, áreas potenciais para expansão da atividade turística, entre outras.

O Plano Diretor Participativo de Desenvolvimento Integrado de Barra Bonita, através de suas diretrizes e instrumentos, pode ser utilizado para se direcionar as áreas em potencial para implantação do sistema de wetlands associado a um parque de visitação pública, alinhado com as expectativas de desenvolvimento do turismo local e contribuindo para com a população do município, como também direcionar de forma legal uma parceria entre município e empresa a fim de viabilizar o projeto.

Dentre os instrumentos previstos que possam viabilizar a implantação do projeto de uma wetland como um parque urbano, pode-se destacar a Seção III, Artigos 13 e 14 que descrevem respectivamente as diretrizes e ações, para que ocorra uma parceria entre o município e o setor sucroalcooleiro, como pode ser observado a seguir:

Art. 13 - São diretrizes Do Município para incentivar o Setor Sucroalcooleiro:

[...]

II - reduzir gradativamente os impactos ambientais gerados no sistema produtivo de cana-de-açúcar, principalmente na fase de colheita, bem

como melhorar sua eficiência;
[...]

Art. 14 - Para a realização dessas diretrizes, o Poder Público Municipal poderá interagir com o Setor Sucroalcooleiro, mediante lei específica, adotando as seguintes ações estratégicas:

[...]

II - buscar parceiros no setor empresarial;

III - captar recursos para financiamentos;

IV - incorporar inovações tecnológicas;

[...]

VI - prover ações para conservação e recuperação do meio ambiente: ar, solo e água;

[...]

VIII - criar área vegetada ao redor do perímetro urbano, criando um cinturão verde de forma a reduzir os impactos ambientais decorrentes de queimada.

Os mecanismos já regulamentados pelo Plano Diretor Integrado Participativo da Estância Turística de Barra Bonita tornam ainda mais plausível a implantação do projeto, já que traz como diretriz reduzir gradativamente os impactos ambientais gerados pelo sistema produtivo de cana-de-açúcar e propõem ações em linha com os objetivos do projeto, como a busca de novas tecnologias, ações de conservação do meio ambiente, criar área vegetada ao entorno do município dando meios para isso se tornar economicamente possível.

4 METODOLOGIA

A pesquisa tem caráter exploratório, uma vez que serão utilizados métodos de pesquisa bibliográfica, documental (fontes impressas e eletrônicas) e de campo, através de coleta de dados primários com análises de laboratório e secundários obtidos em diversos estudos científicos.

O trabalho iniciou com o foco de encontrar a solução exequível, a fim de dar confiabilidade no atendimento da legislação quanto ao lançamento de efluentes gerados no empreendimento sucroenergético em questão. Em sequência indagou-se também a possibilidade de consorciar a resolução do problema com uma alternativa que abrangesse também benefícios sociais à população e urbanísticos ao município.

A constatação da possibilidade de associar um ganho ambiental, instalando um tratamento subsequente ao existente atualmente, com um ganho social e urbanístico, e que, transformaria o novo projeto em área de visitação pública com características e benefícios similares a um parque urbano, foi analisada através de revisão bibliográfica. Também, deu-se ênfase no acompanhamento do comportamento qualitativo e quantitativo do efluente proveniente da saída do sistema atual, e um estudo de áreas potenciais de locação e pré-dimensionamento do novo projeto.

4.1 Coleta e análise de dados

Os dados obtidos provêm de fontes primárias e secundárias, alcançados após período de monitoramento do sistema de tratamento ou através de bibliografia. Esses dados foram trabalhados, a fim de apresentar as informações no desenho apropriado a atender a proposta do estudo em questão.

4.2 Dados primários

Os dados primários advieram do monitoramento das variáveis DBO, DQO, pH e sólidos sedimentáveis, coletados semanalmente na saída do sistema de tratamento de efluentes, em um intervalo de nove meses compreendidos entre 23/04/2015 e 30/12/2015, completando o período de uma safra do empreendimento. No total foram 28 coletas compostas em intervalos de 24 horas, recolhidas por

aparelho de coleta automática. Ocorreram semanas no período descrito acima em que o efluente não foi monitorado por indisponibilidade do laboratório.

As amostras de efluentes foram analisadas em laboratório interno da empresa, seguindo os padrões de análise do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2014.

Os resultados obtidos foram trabalhados, a fim de tornar a relevância de sua análise mais concreta. Desta forma, calcularam-se a média aritmética, mediana, desvio padrão e moda para os resultados de DBO, DQO e sólidos sedimentáveis.

Foram analisados também nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio Kjaldah e fósforo no formato de fosfato em uma coleta durante o período de nove meses referenciado acima, a fim de avaliar a relação carbono, nitrogênio e fósforo. As amostras foram encaminhadas para laboratório externo, o qual também seguiu os padrões do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2014.

A vazão do efluente na entrada do sistema de tratamento foi monitorada também entre o período de 23/04/2015 a 30/11/2015, através de Calha Parshall com medidor de nível ultrassônico online, no qual as vazões são armazenadas em supervisor e ficam disponíveis para consulta.

4.3 Dados secundários

A obtenção dos dados secundários deu-se através de pesquisa bibliográfica, na qual se obteve literatura pertinente aos temas abordados na pesquisa, utilizando fontes impressas e digitais como Scielo, periódicos Capes, entre outras fontes acadêmicas, além da base de dados de instituições como IBGE e CPA – UNICAMP.

As informações obtidas propiciaram a validação dos objetivos da pesquisa, assim como o embasamento para o pré-dimensionamento do sistema proposto e o direcionamento das características da área a ser escolhida como a de maior relevância para a instalação do projeto.

4.4 Pré-dimensionamento das wetlands

O pré-dimensionamento do sistema de wetlands visa comprovar a aplicabilidade desse modelo de tratamento ao efluente gerado por empresa do setor

sucroenergético. Em seguida estimar suas dimensões e a eficiência esperada, a fim de embasar a escolha da área mais aplicável para a instalação do sistema e conseqüentemente alcançar atendimento à legislação quanto ao lançamento do efluente.

Foram utilizadas fórmulas já citadas nas referências bibliográficas, que possibilitaram obter informações básicas do sistema como a área total, largura do leito, tempo de detenção hidráulica e remoção esperada de matéria carbonácea biodegradável. Os dados utilizados nos cálculos advieram do histórico de análise primárias colhidas da saída do tratamento atual do empreendimento, assim como de parâmetros adotadas por outros estudos para embasar os cálculos através de experiências reais aplicadas.

É possível dimensionar de dois modos o sistema de wetlands, sendo um através dos aspectos hidráulicos ideais de operação com base na Lei de Darcy, que descreve o fluxo de um fluido no meio poroso (meio suporte da wetlands) e também a partir da adoção de uma Taxa de Carregamento Orgânico ($\text{kg de DBO ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) ideal para operação do sistema e utilizando a equação de cinética de primeira ordem para remoção de matéria orgânica para cálculo de eficiência do sistema.

4.4.1 Pré-dimensionamento das wetlands através da cinética de remoção de matéria orgânica.

A metodologia utilizada para o dimensionamento do sistema de wetlands através da cinética de remoção da matéria orgânica aplicada por Chagas et al. (2011), diferentemente do dimensionamento com base nos aspectos hidráulicos que se fundamenta principalmente na vazão, trabalha com a definição de uma taxa de carregamento orgânico ($\text{kg de DQO ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) Ideal para operação do sistema, possibilita o cálculo das dimensões e posteriormente utiliza o coeficiente de decaimento do poluente e o coeficiente associado ao aumento da resistência de degradação da matéria orgânica para estimar a eficiência do sistema. O dimensionamento foi feito para dois cenários:

Cenário 01: Utilização da carga orgânica (kg dia^{-1}) de saída do efluente após passar pelo tratamento por lagoas, cuja eficiência média em 2015 foi de 62% para remoção de DBO.

Cenário 02: Utilização da carga orgânica (kg dia^{-1}) estimada para a saída do efluente após passar pelo tratamento por lagoas com a eficiência seja de 75%, porcentagem comprovadamente viável para sistemas semelhantes, desde que a aplicação de melhorias operacionais no sistema atual, como eliminação de zonas mortas, controle da relação N: P: K, possível adoção de aeração, entre outras medidas.

A aplicação dos dois cenários auxilia na decisão de implantar ou não medidas no sistema atual por lagoas para melhorar sua eficiência e impactará na escolha da área para implantação do sistema de wetlands atrelado a um parque urbano, já que a redução da carga orgânica esta relacionada diretamente na redução da área a ser ocupada pelo pós-tratamento.

4.4.2 Pré-dimensionamento das wetlands através de aspectos hidráulicos

O dimensionamento do sistema de wetlands valeu-se dos aspectos hidráulicos da Lei de Darcy apresentada na equação (4.1) e descrita por Mendonça (2011). Foram utilizados dados reais de vazão obtidos no monitoramento do sistema e dados obtidos em estudos científicos como profundidade ideal, porosidade do meio suporte, tempo de detenção hidráulica, comprimento e coeficiente hidráulico, o que possibilitou obter a área transversal e através da equação (4.2) calcular a largura ideal do sistema. Para esse modelo de dimensionamento não foi calculado a eficiência esperada por ausência de dados em trabalhos científicos.

4.5 Critérios para escolha da área potencial para instalação de wetlands

O primeiro critério utilizado na triagem das áreas para a instalação do sistema de tratamento adota como premissas básicas estarem localizadas à jusante do sistema atual, em cota inferior à saída do efluente existente hoje, não ocupadas por vegetação nativa e construções, próximas aos centros urbanos e ao corpo receptor. Posteriormente, definem-se locais potenciais para instalação de wetlands.

A escolha da área ideal dentre as potenciais anteriormente indicadas, que consorcie facilidades de projeto, atrativos urbanísticos, sociais e ambientais, foram confrontadas com a legislação municipal para uso do solo estabelecida pelo Plano Diretor Participativo de Desenvolvimento Integrado do Município da Estância Turística de Barra Bonita, que utilizará as informações contidas no documento como

as diretrizes e mapas temáticos para avaliar a aptidão de cada local para com o projeto.

Finalmente, foi avaliado se as áreas potenciais escolhidas possuem dimensões suficientes para receber o projeto, através dos valores obtidos pelo pré-dimensionamento do sistema de wetlands e da área necessária para implantação às estruturas do parque e assim será escolhido o local com maior aptidão.

4.6 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

O estudo não contempla em seu escopo a obtenção de dados econômicos e financeiros de implantação e manutenção do sistema de wetlands, assim como não abordou uma proposta específica de melhorias no sistema de lagoas existentes atualmente, usando como base a forma de operação e eficiência atual e uma estimativa plausível a ser atingida por sistemas de lagoas.

Não está apreciado no estudo o dimensionamento final do pós-tratamento, apenas um pré-dimensionamento, a fim de levantar principalmente a área aproximada necessária para sua implantação e, após análise de locais potenciais, indicar a que mais se adequa em relação aos objetivos propostos na pesquisa.

É fundamental a elaboração de um estudo de viabilidade de implantação e um estudo de impacto de vizinhança aprofundado para valorar as questões financeiras e sociais do projeto.

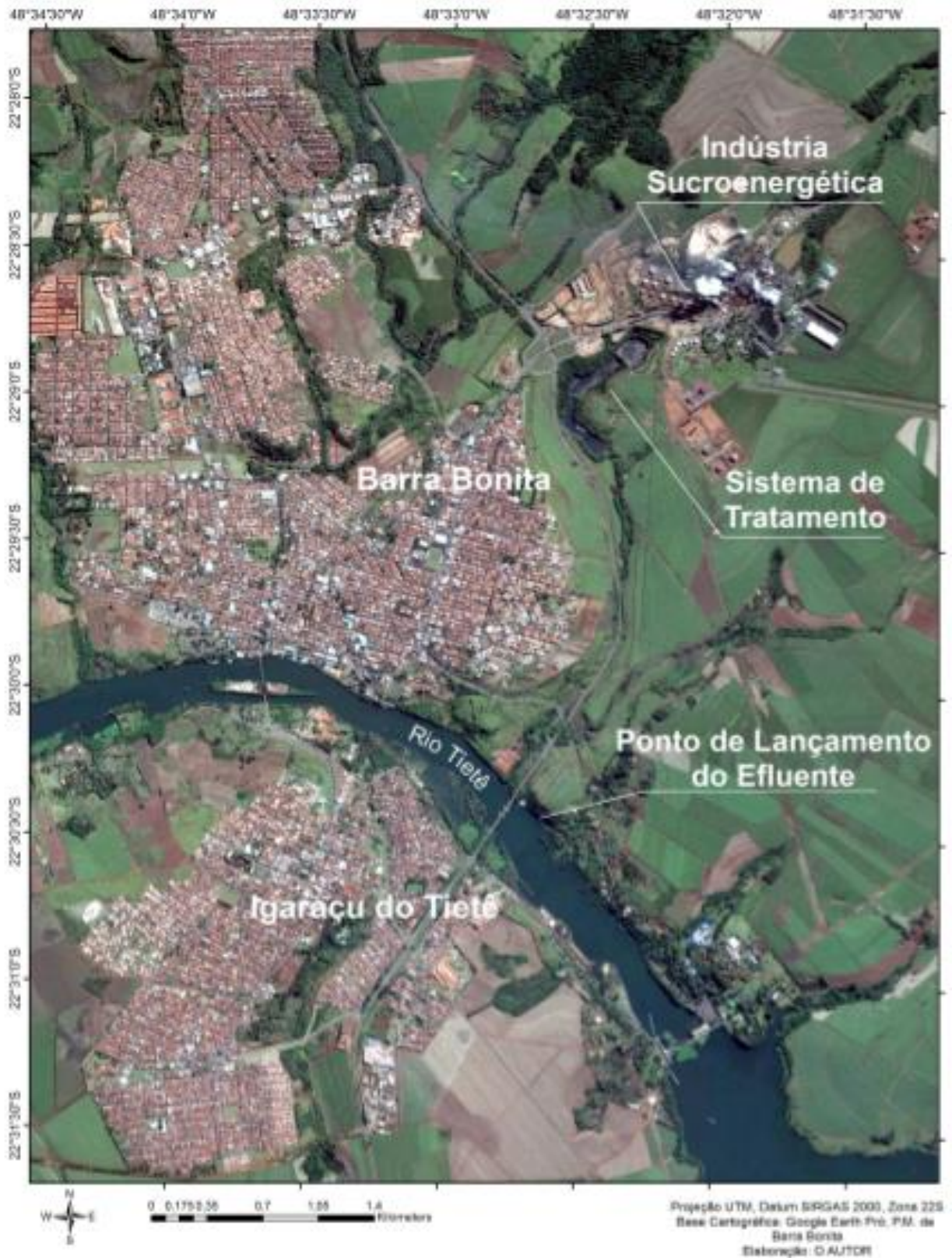
4.7 Área de estudo

A unidade sucroenergética em estudo está localizada no Município de Barra Bonita, São Paulo, com uma capacidade de moagem de cana-de-açúcar licenciada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo de 7,6 milhões de tonelada (CETESB, 2016).

Os efluentes são tratados atualmente em um sistema constituído por três lagoas em séries operando de forma anaeróbia. Há uma insegurança no alcance de 80% da eficiência na redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) com o sistema atual, exigida pela legislação no Estado de São Paulo, Decreto Estadual nº8468 de 08 de setembro de 1976 (SÃO PAULO, 1976).

Apesar de a planta industrial estar instalada na zona rural, a distância da zona urbana de Barra Bonita - SP não é superior a 01 (um) quilometro, e não mais que 03 (três) quilômetros do município de Igarapu do Tietê – SP. O sistema de tratamento de efluentes industriais atual também está próximo, com distâncias semelhantes a do parque industrial, e o ponto de lançamento do efluente tratado no Rio Tietê se posiciona à montante das duas cidades, como se pode observar na Figura 22.

FIGURA 22 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA PLANTA INDUSTRIAL E DO SISTEMA DE TRATAMENTO PERANTE AS ZONAS URBANAS PRÓXIMAS



FONTE: Adaptado do Google Earth, imagem de 13/05/2015

4.8 Estância Turística de Barra Bonita – SP

A Estância Turística de Barra Bonita, SP tem uma população de 35.246 habitantes e o Índice de Desenvolvimento Humano municipal (IDHM) é de 0,788, classificado como alto pela Organização das Nações Unidas (ONU) (IBGE, 2010).

O município está situado na região central do Estado de São Paulo, na microrregião de Jaú, SP e macrorregião de Bauru – SP, ocupado por uma vegetação variando de cerrado e mata atlântica e clima denominado de tropical com estação seca no inverno, a temperatura do mês mais frio tem média superior a 18 C° e precipitações inferiores a 60 mm no mês mais seco, segundo a classificação de *Koepfen* (CPA – UNICAMP, 2016).



Figura 23 – Localização do município de Barra Bonita – SP no Estado de São Paulo.

Fonte: Wikipedia, 2016

A rosa dos ventos do município, obtida através de dados meteorológicos do INMET Barra Bonita para o período de 2008 a 2012, apresenta uma velocidade média de 2,75 m/s, e direção predominante Leste-Sudeste – 29,1%, conforme exposto na Figura 24 (Yamagata, 2013).

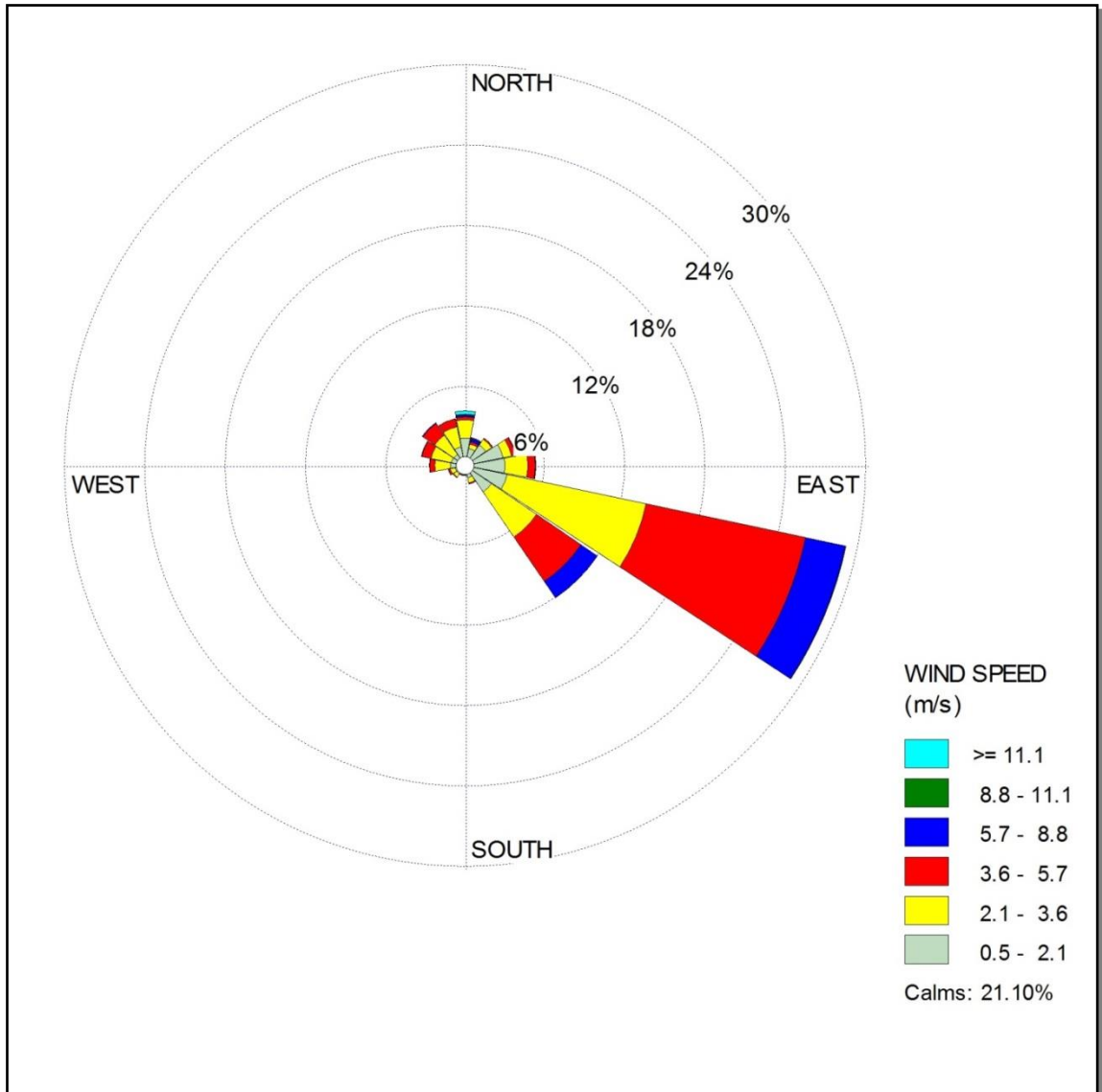


Figura 24 – Rosa dos Ventos – Média Anual – Período: 2.008 a 2.012
 Estação Meteorológica da INMET Barra Bonita
Fonte: Yamagata, 2013.

5 RESULTADOS

5.1 Caracterização do efluente depois da saída do tratamento atual

O efluente gerado na planta sucroenergética em questão tem origem somente industrial, já que os efluentes de características sanitárias são segregados e tratados separadamente.

As análises realizadas semanalmente da saída do sistema de tratamento formado por três lagoas em série estão dispostas na Tabela 2, assim como os cálculos da média aritmética, mediana, moda e desvio padrão.

Tabela 1 – Dados das análises de saída de efluentes no sistema de tratamento..

Datas das Análises	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	pH	Sólidos Sedimentáveis (mL/L)
23/04/2015	733	1100	5,2	0,1
29/04/2015	1000	1440	5,2	0,1
17/05/2015	850	1285	6,7	0,1
03/06/2015	694	955	7,0	0,1
10/06/2015	957	1160	6,6	0,1
16/06/2015	1031	1290	7,0	0,1
22/06/2015	871	1085	7,4	0,1
04/07/2015	631	1125	7,2	0,1
16/07/2015	1147	1400	6,8	0,1
22/07/2015	1102	1477	6,8	0,1
28/07/2015	567	1310	7,1	0,1
03/08/2015	967	1320	6,7	0,1
15/08/2015	891	1295	7,2	0,1
22/08/2015	700	1065	7,5	0,1
27/08/2015	917	1275	7,3	0,1
02/09/2015	833	1225	7,1	0,1
14/09/2015	1127	1385	6,5	0,1
20/09/2015	1000	1375	6,9	0,1
26/09/2015	700	1065	7,2	0,1
02/10/2015	757	1100	7,0	0,1
20/10/2015	680	1025	7,3	0,1
26/10/2015	900	1120	6,9	0,1
14/11/2015	909	1445	6,5	0,1
24/11/2015	744	930	6,6	0,1
06/12/2015	1000	1475	6,0	0,1
12/12/2015	929	1165	6,2	0,1
19/12/2015	691	1370	6,4	0,1
30/12/2015	365	695	7,0	0,1
Média Aritmética	846	1213	-	0,1
Mediana	881	1250	-	0,1

Moda	1000	1100	-	0,1
Desvio Padrão	182	189	-	0,0

Fonte: Laboratório do empreendimento, 2015.

As características do efluente após o tratamento se assemelham a do esgoto sanitário bruto, quando se compara a relação DBO/DQO. A relação DBO/DQO do esgoto doméstico é em torno de 0,5, ou seja, o valor da DQO é o dobro do valor da DBO em média. Os efluentes provenientes do setor sucroenergético, especificamente para esta planta produtora, tem uma relação DBO/DQO entorno de 0,7 na saída do sistema de tratamento.

Apesar da relação DBO/DQO ser semelhante ao esgoto sanitário bruto, as concentrações são diferentes. Os efluentes gerados na planta sucroenergética tem concentração média de DBO na saída do tratamento por lagoas durante o ano de 2015 de 876 mg/l e de DQO de 1253 mg/l, quase três vezes superior a do esgoto sanitário convencional in natura.

O pH (Potencial de hidrogênio) do efluente não tem uma variação grande na saída do sistema. Os valores de pH não atingiram números inferiores a 5,0 e picos superiores a 8,0, sendo que apenas duas amostras obtiveram valores inferiores a 6,0 no início da operação do sistema.

Os sólidos sedimentáveis mantiveram constante em 0,1 mL/L durante todas as amostras realizadas, fato que comprova a eficiência dos sistemas de lagoas na sedimentação de sólidos e reduz o risco de colmatação do sistema wetlands como tratamento complementar, já que os sólidos podem acumular nos vazios do meio suporte e impedir o fluxo do efluente pelo sistema.

O afluente gerado após passar pelas três lagoas de tratamento apresenta uma deficiência de nutrientes, como pode ser comprovado através de análises físico-químicas realizadas pela ASL Análises Ambientais (Relatório nº118676) em 30/06/16 na saída da lagoa três, no qual os resultados para Nitrogênio Amoniacal Total foi de 3,11 mg/L, nitrato de <1,140 mg/L e nitrito de <0,030 mg/L. Também foi realizada uma amostragem para verificar a presença de fósforo no afluente do sistema de lagoas, na qual a análise realizada pelo Laboratório ASL Análises Ambientais (Relatório nº131618) em 25/09/16 demonstrou que a concentração de

fosfato no efluente é de $<0,2$ mg/L, o que pode influenciar no crescimento das bactérias e plantas do sistema.

A relação entre carbono, nitrogênio e fósforo definida como ideal para tratabilidade de efluentes de modo biológico é de 100: 5: 1, respectivamente. No caso específico do afluente das lagoas de tratamento do empreendimento em estudo, de acordo com a média aritmética de DBO de 876 mg/l apresentada na Tabela 1, a relação ideal de Carbono, nitrogênio e fósforo é 876: 87,6 : 8,76, portanto bem acima dos valores reais de 876 : 3,11 : $<0,01$ evidenciada através das análises.

São necessárias mais análises da concentração de nutrientes para comprovar a margem de deficiência no efluente a ser distribuído no sistema de wetlands, mas de qualquer forma a baixa concentração de nitrogênio e a ausência de fósforo, já evidenciadas, considerados elementos fundamentais para melhorar a eficiência do sistema atual e para o desenvolvimento da flora, são fatores de inibição do desenvolvimento das plantas introduzidas no sistema de wetlands e devem ser melhor estudadas para prever a necessidade na alimentação do sistema com fontes externas desses elementos.

A vazão do efluente é controlada na entrada do sistema de tratamento e fechou em média o ano de 2015 com 16.851 m³/dia ou 702 m³/ hora. A mediana ficou muito próxima do valor da média aritmética atingindo 16.160 m³/dia, o que demonstra uma constância na vazão durante o ano, já o desvio padrão foi de 4.733 m³, fato que constata picos de geração de efluentes no processo em determinados períodos, que em geral são amortizados pelo sistema de lagoas.

5.2 Pré-dimensionamento do Sistema de wetlands.

O pré-dimensionamento do sistema de wetlands a ser implantado como pós-tratamento de efluente gerado por uma unidade sucroenergética, que atualmente utiliza um sistema composto por três lagoas anaeróbias operando em série, é fundamental para estimar a área necessária da implantação do projeto e a porcentagem de eficiência esperada na remoção da carga orgânica.

É possível dimensionar o sistema de wetlands por de duas metodologias de cálculo, na qual a primeira utiliza a cinética de remoção de primeira ordem para matéria orgânica com a definição de uma taxa de carregamento orgânico ideal do efluente e a segunda tem como embasamento técnico os aspectos hidráulicos do deslocamento do fluido no meio poroso com base na Lei de Darcy.

Foram utilizadas informações reais de vazão e eficiência levantados no monitoramento do sistema e dados obtidos em estudos científicos, como a Taxa de Carregamento orgânico (TCO), profundidade, porosidade do meio suporte, tempo de detenção hidráulica, comprimento, coeficiente hidráulico, coeficiente de decaimento do poluente, entre outros.

5.2.1 Cálculo de pré-dimensionamento do sistema de wetlands através da adoção da Taxa de Carregamento Orgânico (TCO)

O pré-dimensionamento do sistema de wetlands teve como base o experimento de Chagas et al. (2011), descrito com mais detalhes no item 3.4, no qual se obteve uma eficiência de 70% para um cenário de uma wetlands de fluxo horizontal para tratamento de esgoto sanitário bruto utilizando um enchimento de brita zero, com dimensões de 24 metros de comprimento (c) e 0,25 metros de profundidade (p), tempo de detenção hidráulica (TDH) de 0,75 dia com uma a Taxa de Carregamento Orgânico (TCO) de 395 (kg de DBO ha⁻¹ dia⁻¹), que foi adotado para os cálculos.

Foram criados dois cenários para pré-dimensionamento da área do parque, no qual o primeiro se baseará nos dados de eficiência média de 62% alcançados pelo sistema atual no ano de 2015 para remoção de DBO e o segundo será sobre uma estimativa de eficiência de 75% para remoção de DBO, em caso de implantação de melhorias no sistema atual de tratamento por lagoas, que antecederá o sistema de wetlands.

5.2.1.1 Cenário 01

O Cenário 01 utilizou a eficiência média de 62% do sistema de lagoas que antecederá o sistema de wetlands alcançada no ano de 2015 para o dimensionamento do projeto. Esse cenário aplica-se caso se decida não implantar melhorias no sistema de tratamento atual.

Abaixo estão parâmetros adotados para os cálculos do pré-dimensionamento extraídos de pesquisas e de dados práticos do monitoramento do sistema de tratamento.

Vazão (Q): Dados médios obtidos em medições realizadas na entrada do sistema de tratamento no ano de 2015.

Q: 16851 m³/dia

Q: 702 m³/h

Demanda Bioquímica de oxigênio (DBO): Média aritmética obtida em 28 coletas realizadas no ano de 2015 na saída do sistema de tratamento.

DBO: 846 mg/l

Demanda Química de oxigênio (DQO): Média aritmética obtida em 28 coletas realizadas no ano de 2015 na saída do sistema de tratamento.

DQO: 1213 mg/l

Índice de vazios do meio suporte (i): Índice de vazios calculado por Brasil e Matos (2008) com uso de Brita # 0 (diâmetro – D60 = 7,0 mm, Cu D60/D10 = 1,6).

i: 48,4%

Coefficiente de decaimento do Poluente (kv): Valor determinado por Chagas et al. (2011) em experimento piloto para tratamento de esgoto sanitário em wetlands após passagem por tratamento preliminar com comprimento de 24,0 metros, profundidade de 0,25 metros e Taxa de Carregamento Orgânico de 395 (kg de DBO ha⁻¹ dia⁻¹).

Kv: 1,72 dia⁻¹

Coefficiente associado ao aumento da resistência de degradação da matéria orgânica (n): Valor determinado por Chagas et al. (2011).

n: 461

Tempo de detenção Hidráulica (TDH): Valor utilizado por Chagas et al. (2011),

TDH: 0,75 dia

Carga Orgânica do efluente (CO): Valor calculado para uma vazão de efluente média de 16.851 m³/dia e DBO de 846 mg/l da saída do tratamento com 62% de eficiência.

CO: 14.255,9 Kg de DBO dia⁻¹

A definição da taxa de Carregamento Orgânico de 395 kg de DBO ha⁻¹ dia⁻¹ utilizada por Chagas et al. (2011) possibilita a determinação da área total da wetland (At).

Área total da wetland (At):

(5.1)

$$At = \frac{CO}{TCO}$$

Onde:

CO = Carga orgânica média do efluente após o sistema de tratamento atual (kg de DBO dia⁻¹)

TCO = Taxa de carregamento Orgânico (kg de DBO ha⁻¹ dia⁻¹) adotado de Chagas et al. (2011).

$$At = \frac{14255,9}{395}$$

$$At = 36,09 \text{ ha ou } 360.910,03 \text{ m}^2$$

A definição da área total da wetlands, necessária para tratabilidade do efluente com as características atuais do sistema de tratamento, possibilita o cálculo de uma dimensão aplicável ao projeto, a fim de facilitar a sua locação prévia e o dimensionamento de sua área total, já com as estruturas do parque a ser instalado ao seu entorno. É importante salientar que ela pode ser dividida em diversas células e não necessariamente ser implantada em apenas um módulo.

Definiu-se que o comprimento do sistema de wetlands será quatro vezes maior que sua largura, determinando os valores através da fórmula 5.2:

(5.2)

$$At = C * L$$

$$At = 4L * L$$

Onde:

C = Comprimento (m)

L = Largura (m)

$$360.910,03 = 4L * L$$

$$L = 300,5 \text{ metros e } C = 1200,5 \text{ metros}$$

Ao redor da área do sistema de wetlands estão previstas as instalações de estruturas comuns em parques, como vias para trânsito dos visitantes dentro do parque, banheiros, anfiteatro, sala de exposição, equipamentos de ginástica, estacionamentos para veículos motorizados ou não, almoxarifado para equipamentos de manutenção, pátio para gestão do resíduo de poda das plantas, entre outras estruturas.

Para implantação das estruturas comuns a um parque descritas acima, adotou-se a expansão em 30 metros das áreas ao redor, exceto da área da frente que será de 100 metros, na qual se deve instalar a maior parte das estruturas do parque, como se pode observar na Figura 25.

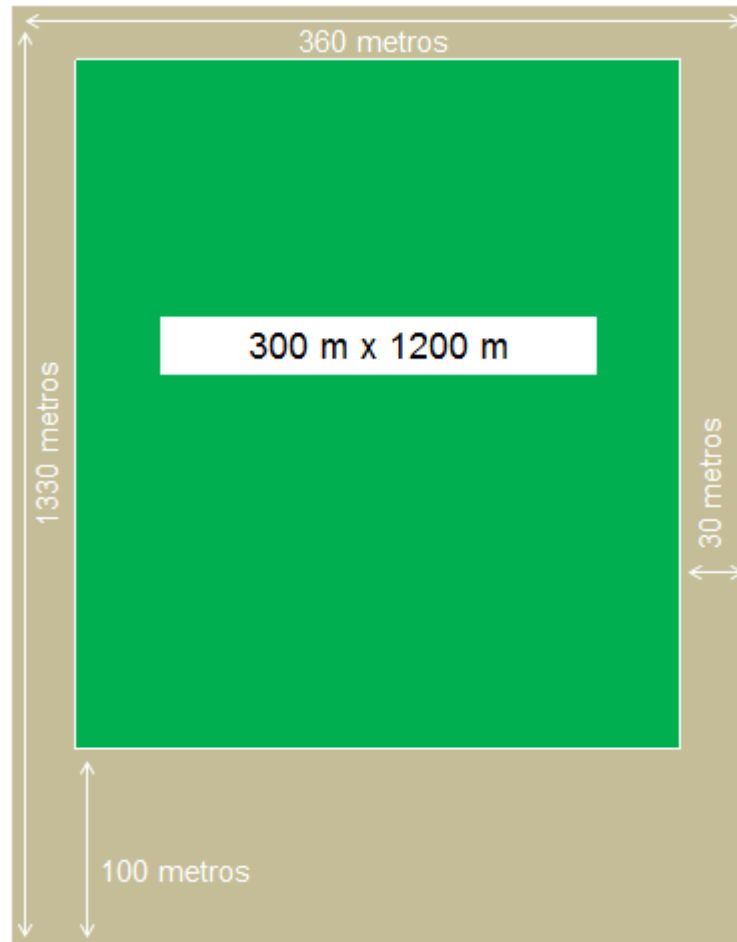


Figura 25 – Croqui esquemático do Cenário 01 de implantação do Parque associado ao sistema de wetlands calculado através da Taxa de Carregamento Orgânico (TCO)

O croqui apresentado na Figura 25 é meramente ilustrativo e é aplicado apenas para uma melhor visualização das dimensões da wetlands associada a um parque, já que na elaboração do projeto executivo podem ser aplicadas diversas formas de implantação, possibilitando assim aproveitar as características do terreno e melhorar a estética do projeto.

O dimensionamento da área total do parque dá-se, basicamente, pela multiplicação do comprimento e largura (5.3) das células de wetlands somada às dimensões adotadas para implantar as estruturas necessárias do parque.

Área total do Parque (At):

(5.3)

$$\begin{aligned} At &= Ct * Lt \\ At &= 1330,0 * 360 \\ At &= 482.895,0 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

A definição das dimensões do parque e do sistema de wetlands possibilita visualizar opções de locais para implantação do projeto, porém outro fator fundamental para sua viabilidade é a eficiência do sistema na remoção de carga orgânica, a fim de garantir a confiabilidade no atendimento da legislação. A estimativa da eficiência pode ser dada pela equação de primeira ordem para remoção de matéria orgânica (5.4) utilizada por Chagas et al. (2011):

Cálculo da eficiência de remoção de carga orgânica (So)

(5.4)

$$\frac{S}{S_0} = e^{(-K_v \cdot t^n)}$$

Onde:

S - concentração de efluente, mg L^{-1} (DQO)

*S*₀ - concentração de afluente, mg L^{-1} (DQO).

K_v - coeficiente de decaimento do poluente, d^{-1}

t - tempo de detenção hidráulica, *d*

n - coeficiente associado ao aumento da resistência à

degradação do material orgânico remanescente e às alterações hidrodinâmicas no sistema, *adimensional*

$$\frac{S}{1213} = e^{(-1,72 \cdot 0,75^{0,461})}$$

$$S = 463 \text{ mg de DQO/L}$$

O sistema de wetlands apresentou uma redução de 1213 mg/L para 463 mg/L de DQO, o que dá uma eficiência de 62% na remoção de carga orgânica apenas no sistema de wetlands a ser implantado.

Expandindo a eficiência de 62% na remoção de carga orgânica também para a DBO ao sistema de wetlands a ser implantado e já abrangendo a eficiência comprovada através de análises também de 62% para remoção de DBO atingido pelo sistema de lagoas no ano de 2015 em operação na planta agroindustrial, traz uma eficiência global do sistema como um todo de 85%, o que garante uma confiabilidade no atendimento do Decreto Estadual nº 8468 de 08 de setembro de 1976 (SÃO PAULO, 1976), que exige em seu Artigo 18, inciso V uma eficiência mínima de 80% para remoção de DBO em sistema de tratamento de efluentes.

O ponto de lançamento do efluente ocorre no Rio Tietê, classificado como Classe II neste trecho, que por histórico de análises do empreendimento não sofre desequilíbrio nas condições atuais, portanto a implantação do sistema de wetlands trará melhorias das águas sem a obrigatoriedade de atingir um padrão que não altere a classe do rio.

Os dados de dimensionamento do sistema de wetlands associados ao parque urbano e da eficiência estimada estão resumidos na Tabela 2.

Tabela 2 Dados obtidos no Cenário 01 para pré-dimensionamento do sistema de wetlands

Número de células de wetlands	Comprimento (m)	Largura (m)	Profundidade das células (m)	Área total do tratamento (m ²)	Área total do Parque (m ²)	Eficiência de remoção de DBO calculada para a wetlands (%)	Eficiência de remoção de DBO calculada para o sistema (%)
1	1200,5	300,5	0,25	360.910,03	482.895,00	62	85

5.2.1.2 Cenário 02

O Cenário 02 adotou a eficiência média de 75% do sistema de lagoas que antecederá o sistema de wetlands, passível de ser alcançada para sistema de lagoas com aplicação de melhorias como aeração, remoção de zonas mortas, ajuste na relação carbono, nitrogênio e fósforo do efluente a ser tratado, entre outras ações.

Segue os parâmetros adotados para os cálculos do pré-dimensionamento extraídos de pesquisas e de dados práticos do monitoramento do sistema de tratamento.

Vazão (Q): Dados obtidos em medições realizadas na entrada do sistema de tratamento no ano de 2015.

Q: 16851 m³/dia

Q: 702 m³/h

Demanda Bioquímica de oxigênio (DBO): Valor de DBO alcançado na saída do tratamento atual caso a eficiência do sistema fosse de 75%.

DQO: 550 mg/l

Demanda Química de oxigênio (DQO): Valor de DQO alcançado na saída do tratamento atual caso a eficiência do sistema fosse de 75%.

DQO: 921 mg/l

Índice de vazios do meio suporte (i): Índice de vazios calculado por Brasil e Matos (2008) com uso de Brita # 0 (diâmetro – D60 = 7,0 mm, Cu D60/D10 = 1,6).

I: 48,4%

Coefficiente de decaimento do Poluente (kv): Valor determinado por Chagas et al. (2011).

Kv: 1,72 dia⁻¹

Coefficiente associado ao aumento da resistência de degradação da matéria orgânica (n). Valor determinado por Chagas et al. (2011).

n: 461

Tempo de detenção Hidráulica (TDH): Valor determinado por Chagas et al. (2011).

TDH: 0,75 dia

Carga Orgânica do efluente (CO): Valor calculado para uma vazão de efluente média de 16.851 m³/dia e DBO de 550 mg/l da saída do tratamento caso a eficiência do sistema fosse de 75%..

CO: 9268,1 kg de DBO dia⁻¹

A definição da taxa de Carregamento Orgânico de 395 kg de DBO ha⁻¹ dia⁻¹ utilizada por Chagas et Al. (2011), possibilita a determinação da área total da wetlands (At).

Área total da wetlands (At):

(5.5)

$$At = \frac{CO}{TCO}$$

Onde:

CO = Carga orgânica média do efluente após o sistema de tratamento atual (kg de DBO dia⁻¹)

TCO = Taxa de carregamento Orgânico adotado de Chagas et al. (2011)

$$At = \frac{9268,1}{395}$$

$$At = 23,46 \text{ ha ou } 234.634,18 \text{ m}^2$$

A definição da área total da wetlands, necessária para tratabilidade do efluente com as características futuras do sistema de tratamento em caso de implantação de melhorias, possibilita o cálculo de uma dimensão aplicável ao projeto, a fim de facilitar a sua locação prévia e o dimensionamento de sua área total, já com as estruturas do parque a ser instalado ao seu entorno.

Utilizou o mesmo critério do Cenário 01 para definição das dimensões da wetlands, na qual o comprimento do sistema será quatro vezes maior que sua largura, determinando os valores através da fórmula 5.6:

(5.6)

$$At = C * L$$

$$At = 4L * L$$

Onde:

C = Comprimento (m)

L = Largura (m)

$$234.634,18 = 4L * L$$

$$L = 242,2 \text{ metros e } C = 968,8 \text{ metros}$$

Ao redor da área do sistema de wetlands estão previstas as instalações de estruturas comuns em parques, como vias para trânsito dos visitantes dentro do parque, banheiros, anfiteatro, sala de exposição, equipamentos de ginástica, estacionamentos para veículos motorizados ou não, almoxarifado para equipamentos de manutenção, pátio para gestão do resíduo de poda das plantas, entre outras estruturas.

Para implantação das estruturas comuns a um parque descritas anteriormente, como no Cenário 01, adotou-se a expansão em 30 metros das áreas ao redor, exceto da área da frente que será de 100 metros, na qual se deve instalar a maior parte das estruturas do parque, como se pode observar na Figura 26.

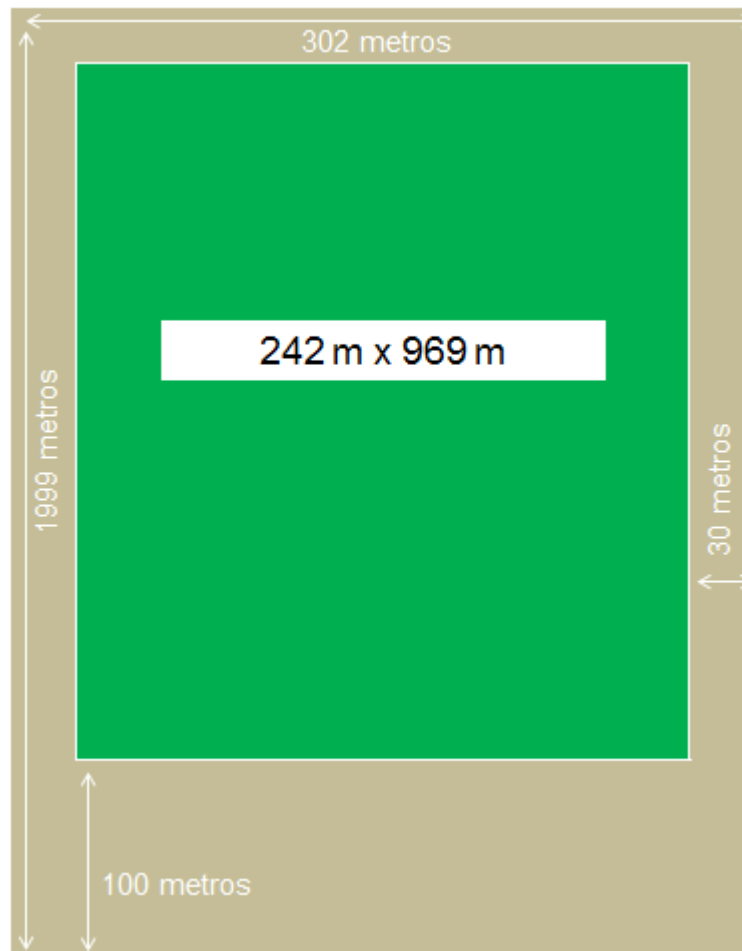


Figura 26 – Croqui esquemático do Cenário 02 de implantação do Parque associado ao sistema de wetlands calculado através da Taxa de Carregamento Orgânico (TCO)

O croqui apresentado na Figura 28 também é meramente ilustrativo e é aplicado apenas para uma melhor visualização das dimensões da wetlands associada a um parque, já que na elaboração do projeto executivo podem ser aplicadas diversas formas de implantação possibilitando assim aproveitar as características do terreno e melhorar a estética do projeto.

O dimensionamento da área total do parque dá-se basicamente pela multiplicação do comprimento e largura das células de wetlands somada às dimensões adotadas para implantar as estruturas necessárias do parque.

Área total do Parque (At):

(5.6)

$$\begin{aligned} At &= Ct * Lt \\ At &= 1998,8 * 302,2 \\ At &= 332.046,4 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Foi calculada a eficiência do sistema na remoção de carga orgânica também para o Cenário 02, a fim de garantir a confiabilidade no atendimento da legislação. A estimativa da eficiência pode ser dada pela equação de primeira ordem para remoção de matéria orgânica (5.7) utilizada por Chagas et al. (2011):

Cálculo da eficiência de remoção de carga orgânica (So)

(5.7)

$$\frac{S}{S_0} = e^{(-K_v \cdot t^n)}$$

Onde:

S - concentração de efluente, mg L⁻¹ (DQO)

*S*₀ - concentração de afluente com eficiência de 75% do sistema atual, mg L⁻¹ (DQO).

K_v - coeficiente de decaimento do poluente, d⁻¹

t - tempo de detenção hidráulica, dia

n - coeficiente associado ao aumento da resistência à degradação do material orgânico remanescente e às alterações hidrodinâmicas no sistema, adimensional

$$\frac{S}{921} = e^{(-1,72 \cdot 0,75^{0,461})}$$

$$S = 352 \text{ mg/L de DQO}$$

O sistema de wetlands apresentou uma redução de 921 mg/L para 352 mg/L de DQO, o que dá uma eficiência de 62% na remoção de carga orgânica apenas no sistema de wetlands a ser implantado.

Considerando a eficiência de 62% na remoção de carga orgânica também para a DBO ao sistema de wetlands a ser implantado e já abrangendo a eficiência estimada 75% para remoção de DBO a ser atingida pelo sistema em operação na planta agroindustrial após a implantação de melhorias, traz uma eficiência global do sistema como um todo de 90%, o que garante ainda mais a confiabilidade no atendimento do Decreto Estadual nº 8468 de 08 de setembro de 1976 (SÃO PAULO, 1976), que exige em seu Artigo 18, inciso V uma eficiência mínima de 80% para remoção de DBO em sistema de tratamento de efluentes.

O corpo hídrico receptor do efluente após o tratamento é o rio Tiete, que é considerado como Classe 2 no ponto de lançamento. Não ocorre o desenquadramento após o lançamento mesmo nas condições atuais do sistema, portanto a implantação trará ainda mais benefícios para a qualidade de suas águas sem que haja a necessidade de atendimento de um padrão de lançamento específico.

Os dados de dimensionamento do sistema de wetlands associado ao parque urbano e da eficiência estimada estão resumidos na Tabela 3.

Tabela 3 Dados obtidos no Cenário 02 para pré-dimensionamento do sistema de wetlands.

Número de células de wetlands	Comprimento das células (m)	Largura das Células (m)	Profundidade das células (m)	Área total do tratamento (m ²)	Área total do Parque (m ²)	Eficiência de remoção de DBO calculada para a wetlands (%)	Eficiência de remoção de DBO calculada para o sistema (%)
1	968,8	242,2	0,25	234.634,18	329.230,00	62	90

5.2.2 Cálculo de pré-dimensionamento do sistema de wetlands através de critérios hidráulicos

O pré-dimensionamento do sistema de wetlands com uso de critérios hidráulicos tem como alicerce a Lei de Darcy, que possibilita o cálculo da Área transversal do sistema com a adoção da condutividade hidráulica saturada ideal para a operação, que neste caso específico adotará o valor obtido por Brasil e Matos (2008) em experimento de wetlands de fluxo horizontal com meio suporte composto de brita zero, comprimento de 24,0 metros, 0,30 de largura e 0,28 metros de profundidade.

Segue parâmetros adotados para os cálculos do pré-dimensionamento extraído pesquisas e de dados práticos do monitoramento do sistema de tratamento.

Vazão (Q): Dados médios obtidos em medições realizadas na entrada do sistema de tratamento no ano de 2015.

Q: 16851 m³/dia

Q: 702 m³/h

Demanda Bioquímica de oxigênio (DBO): Média aritmética obtida através de 28 coletas realizadas no ano de 2015 na saída do sistema de tratamento.

DBO: 876 mg/l

Demanda Química de oxigênio (DQO): Média aritmética obtida através de 28 coletas realizadas no ano de 2015 na saída do sistema de tratamento.

DQO: 1213 mg/l

Profundidade da wetlands (p): Adotada profundidade de Brasil e Matos (2008) para cálculo da Condutividade Hidráulica (ks)

p: 0,28 metros

Declividade (d): Adotada declividade de Brasil e Matos (2008) para cálculo da Condutividade Hidráulica

d: 1%

Comprimento das células (c): Comprimento utilizado por Chagas et al. (2011) e Brasil e Matos (2008) para cálculo do coeficiente de decaimento da matéria orgânica.

c: 24,0 metros

Índice de vazios do meio suporte (i): Índice de vazios calculado por Brasil e Matos (2008) com uso de Brita # 0 (diâmetro – D60 = 7,0 mm, Cu D60/D10 = 1,6).

I: 48,4%

Condutividade Hidráulica Saturada (ks): Valor calculado utilizado por Brasil e Matos (2008) em experimento piloto para tratamento de esgoto sanitário em wetlands a 20 °C com comprimento de 24,0 metros, índice de vazios do meio suporte de 48,6% e declividade e 1%.

Ks: 9099 m/dia

Tempo de detenção Hidráulica (TDH): Tempo de detenção hidráulica utilizado por utilizado por Mendonça (2011), Cano (2000) e Chagas (2011) para sistemas piloto de wetlands, conforme disposto no Quadro 3 (pg.37).

TDH: 48 horas

O cálculo da Área transversal de uma célula da wetlands é disposto pela equação conhecida como Lei de Darcy (5.8):

Área Transversal (A. trans.)

(5.8)

$$A. trans. = \frac{Q}{Ks.S}$$

Onde:

A.trans. = Área Transversal (m²)

Q = Vazão (m³ dia⁻¹)

Ks = Condutividade hidráulica do substrato (m³ m⁻² dia⁻¹)

S = declividade do leito ou gradiente hidráulico (m m⁻¹)

$$A. trans. = \frac{16.851}{9099 * 0,01}$$

$$A. trans. = 185,20 m^2$$

O cálculo da largura ideal do leito de uma célula da wetland é dado pela formula 5.9:

Largura do Leito (L)

(5.9)

$$L = \frac{At}{p} = \frac{Q}{K_s \cdot S \cdot p}$$

Onde:

L = Largura (m)

P = Profundidade (m)

$$L = \frac{185,20}{0,28}$$

$$L = 661,41 \text{ m}$$

A definição da largura ideal para cada célula do sistema de tratamento possibilita o cálculo do Volume (V) por célula como também o Volume útil (Vu) considerando o índice de vazios do meio suporte.

Volume (V)

(5.10)

$$V = L \cdot P \cdot C$$

Onde:

L = Largura (m)

P = Profundidade (m)

C = Comprimento (m)

$$V = 661,41 \cdot 0,28 \cdot 24$$

$$V = 4.444,7 \text{ m}^3$$

Volume útil (Vu)

(5.11)

$$Vu = V \cdot I$$

Onde:

I = Índice de Vazios (%)

$$Vu = 4.444,7 * 48,4\%$$

$$Vu = 2.151,2 \text{ m}^3$$

O cálculo do volume útil da célula dimensionada com critérios hidráulicos permite estimar quantas células de wetlands serão necessárias para tratar a vazão média do efluente de 702,1 m³/h gerada no sistema. Primeiramente, é necessário o cálculo da vazão de cada célula de wetlands a partir da definição de um tempo de detenção hidráulica (TDH) ideal para o funcionamento do sistema de tratamento.

O TDH utilizado para os cálculos é de dois dias (48 horas) e foi adotado por diversos autores expostos no Quadro 3.

Vazão de cada célula (Qc)

(5.12)

$$Qc = Vu / TDH$$

$$Qc = 2.151,2 / 48$$

$$Qc = 44,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

O cálculo da vazão média que cada célula de wetlands deve operar, permite que se estime a quantidade de células necessárias para tratar a vazão gerada como um todo.

Número de células de wetlands necessárias (Nº)

(5.13)

$$N^\circ = Q / Qc$$

$$N^\circ = 702,1 / 44,8$$

$$N^\circ = 15,7$$

A definição da largura e comprimento da célula de tratamento permite o cálculo da área superficial dela e desta forma torna-se possível estimar a área para implantar o sistema de tratamento com as dezesseis células de wetlands necessárias.

Área Superficial de uma célula (A_c):

(5.14)

$$A_c = L.C$$

Onde:

$L =$ Largura (m)

$C =$ Comprimento (m)

$$A_c = 661,41 * 24,0$$

$$A_c = 15873,9 \text{ m}^2$$

Área Superficial necessária para implantação das dezesseis células de wetlands (A_w):

$$A_w = A_c * 16 \text{ unidades}$$

$$A_w = 253.983,4 \text{ m}^2$$

A definição da área necessária para implantação das dezesseis células que formam o sistema de wetlands é o ponto de partida para determinar a área necessária para o parque como um todo.

Optou-se por instalar as dezesseis células em sequência para facilitar o cálculo da área total necessária do projeto e a partir disso definiu-se que as estruturas do parque seriam implantadas em faixa de 30 metros ao redor das células, exceto para a área frontal que será 100 metros, local que receberá a maior parte das estruturas, utilizando as mesmas diretrizes adotadas para o dimensionamento através da Taxa de Carregamento Orgânico (TCO), conforme croqui a ser observado na Figura 27.

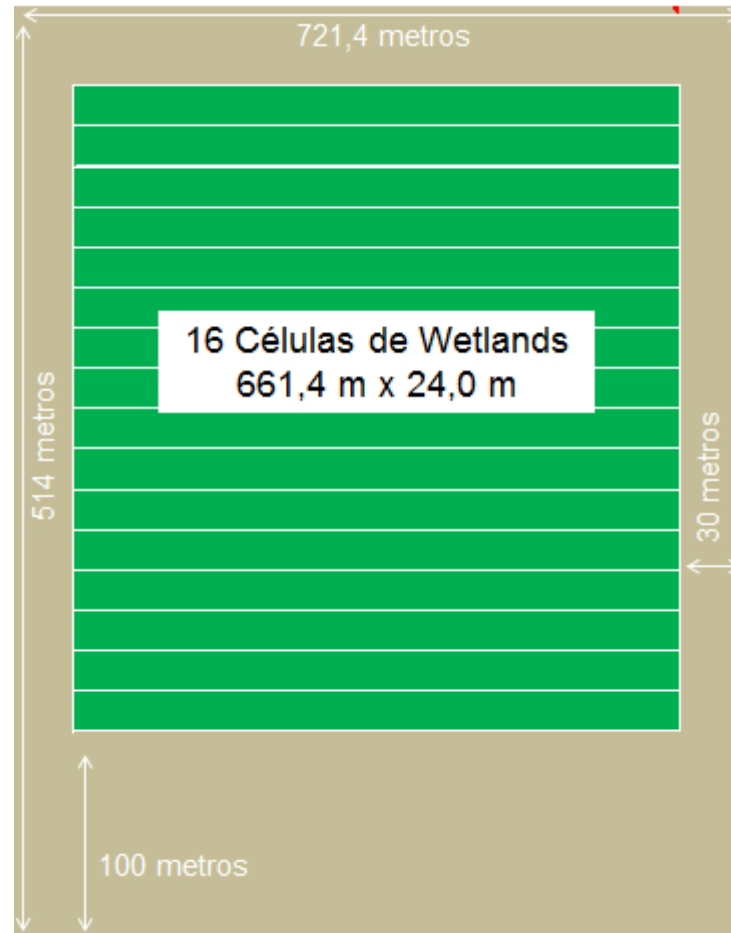


Figura 27 Croqui esquemático do Parque associado ao sistema de wetlands calculado através dos aspectos hidráulicos

O croqui apresentado na Figura 27 também é meramente ilustrativo e é aplicado apenas para uma melhor visualização das dimensões da wetlands associada a um parque, já que na elaboração do projeto executivo podem ser aplicadas diversas formas de implantação possibilitando assim aproveitar as características do terreno e melhorar a estética do projeto.

A distribuição das células na área e a definição das dimensões, na qual serão instaladas as estruturas do parque permitem que seja possível calcular a área total a ser ocupada no terreno para implantação do projeto.

Área total do parque (A_t)

(5.15)

$$A_t = L_t * C_t$$

$$At = 721,41 * 514$$

$$At = 370.804,74 \text{ m}^2$$

A previsão de eficiência a ser alcançada pelo sistema de wetlands, a ser implantado como polimento do tratamento de efluentes de uma empresa do setor sucroenergético realizado atualmente por três lagoas anaeróbias é de muita relevância para o sucesso do projeto.

O cálculo para verificar a remoção de matéria orgânica (DQO) pode ser realizado através da equação de primeira ordem para remoção de matéria orgânica, na qual utiliza o Coeficiente de decaimento dos Poluentes no sistema (K_v) e Coeficiente associado ao aumento da resistência da degradação do material orgânico (n), porém não foram encontrados valores dos coeficientes destacados acima para uma Taxa de Carregamento Orgânico de 581,2 Kg de DBO $\text{ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ calculado para o sistema de wetlands dimensionado com aspectos hidráulicos contando com uma eficiência de 62% na remoção de DBO do sistema atual de tratamento ou até mesmo para aplicação de melhorias no sistema atual, aumentando sua eficiência para 75% de remoção de DBO, que reduziria a Taxa de Carregamento Orgânico de 435 kg de DBO $\text{ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$.

Chagas, et al. (2011) calcularam os Coeficiente de decaimento dos Poluentes no sistema (K_v) e Coeficiente associado ao aumento da resistência da degradação do material orgânico (n) para uma Taxa de Carregamento Orgânico máxima de 395 kg de DBO $\text{ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ em um Tempo de Detenção Hidráulica de 0,75 dias, o que impossibilita a aplicação desses valores ao projeto dimensionado.

Desta forma, não será estimada a eficiência para o sistema dimensionado através dos aspectos hidráulicos por ausência na literatura de dados que possibilitem a aplicação da equação de primeira ordem para remoção de matéria orgânica e ele servirá como base comparativa para com as dimensões obtidas nos Cenários 01 e 02 calculados com uso da Taxa de Carregamento Orgânico ideal.

5.2.3 Comparação entre os pré-dimensionamentos calculados para o sistema de wetlands

Foram calculados três pré-dimensionamentos de wetlands a ser implantado no tratamento do efluente após o sistema de lagoas já em operação no empreendimento sucroenergético. Dois cenários foram baseados em uma taxa de carregamento orgânico padrão e o terceiro nos aspectos hidráulicos ideais para o sistema. A Tabela quatro apresenta uma consolidação das dimensões obtidas para os três cenários.

Tabela 4 Dados dos Cenários de pré-dimensionamento do sistema de wetlands

Propostas de dimensionamento	Número de células de wetlands	Comprimento das células (m)	Largura das Células (m)	Profundidade das células (m)	Área total do tratamento (m ²)	Área total do Parque (m ²)
Cenário 01	100	24	150,4	0,25	360.910,03	482.895,00
Cenário 02	100	24	97,76	0,25	234.634,18	329.230,00
Aspectos hidráulicos	16	24	661,41	0,28	253.983,40	370.804,74

Observa-se que há uma similaridade e coerência entre os valores apresentados nos cálculos de pré-dimensionamento, o que primeiramente demonstra uma confiabilidade nos resultados e nos métodos adotados. O Cenário 02 foi o que obteve as menores dimensões, o que logicamente está associado à proposta de menor carga orgânica aplicada com a contrapartida de aumento da eficiência do sistema implantado atualmente, a ser conquistado com a introdução de melhorias operacionais.

As grandes áreas obtidas para implantação do projeto como um todo é factível, pois é de característica intrínseca ao ramo de atuação do empreendimento a geração de vazões elevadas e efluentes com alta carga orgânica, o que conseqüentemente impacta no dimensionamento do sistema como um todo, porém não inviabiliza a implantação de qualquer um dos cenários, já que parques também demandam de grandes áreas ocupadas para serem usufruídas por seus visitantes.

5.3 Definição de áreas potenciais para implantação de parque consorciado com o sistema de wetlands construídas

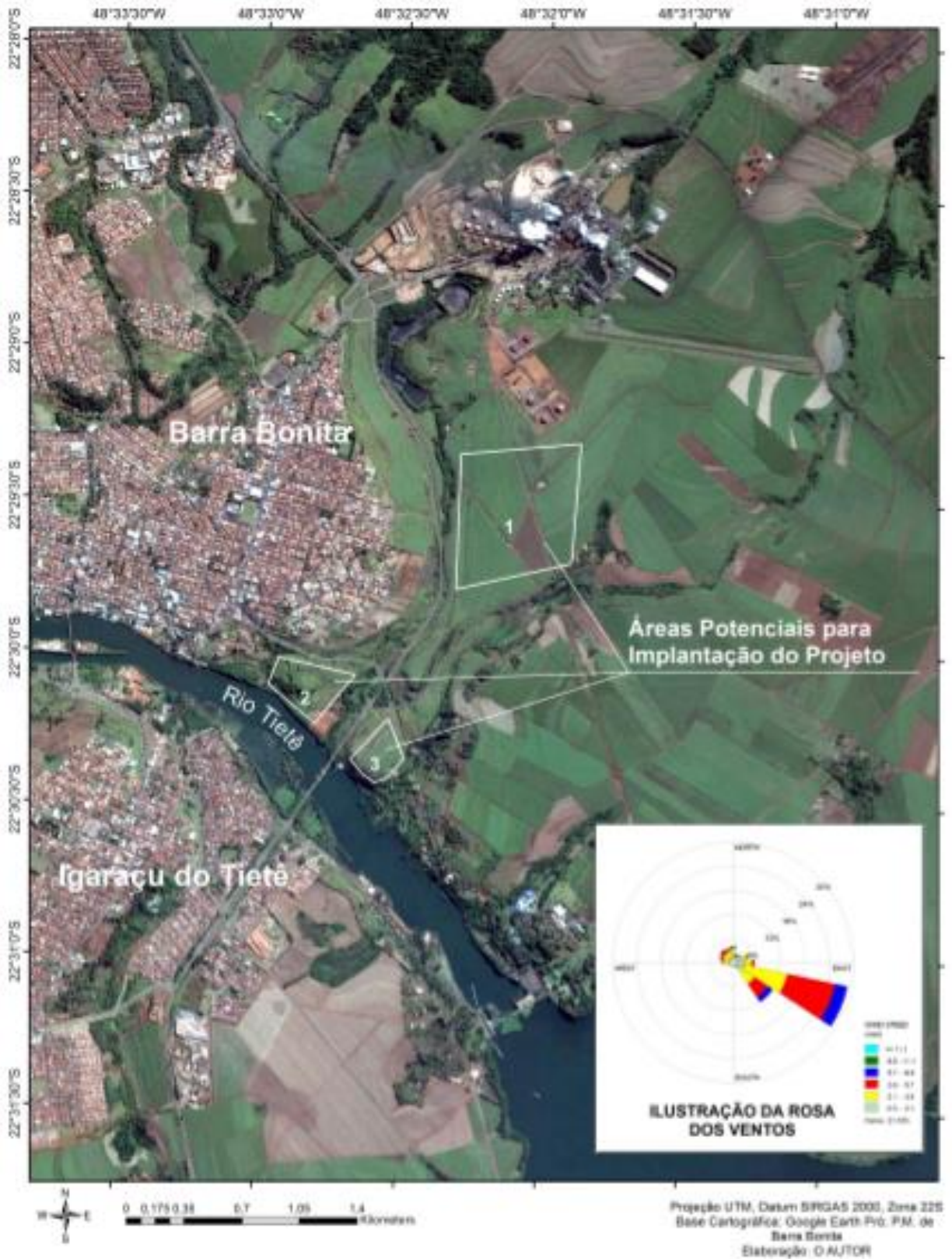
A escolha do sistema de wetlands como opção para polimento do tratamento de efluentes gerados por indústria do setor sucroenergético deu-se, entre outras questões técnicas, pelo potencial de atrelar o tratamento com a implantação de um parque de visitação pública.

O primeiro critério para triagem utilizado na definição do melhor local para implantação do projeto de wetlands consorciado com um parque de visitação pública definiu como diretrizes básicas:

- Áreas localizadas à jusante do sistema atual de tratamento;
- Não ser ocupada por vegetação nativa ou por instalações urbanas consolidadas;
- Proximidade do centro urbano para facilitar acesso aos visitantes;
- Proximidade do corpo receptor do efluente após o tratamento, porém fora de áreas de preservação permanente;

A aplicação dos critérios básicos classificou três áreas potenciais, que atenderam por completo ao primeiro critério. As três áreas estão apresentadas na Figura 28, assim como a rosa dos ventos preponderantes na região, a fim de fazer uma avaliação do impacto de possíveis odores na zona urbana.

FIGURA 28 - MAPA DAS POTENCIAIS ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA WETLANDS CONSORCIADO COM PARQUE URBANO



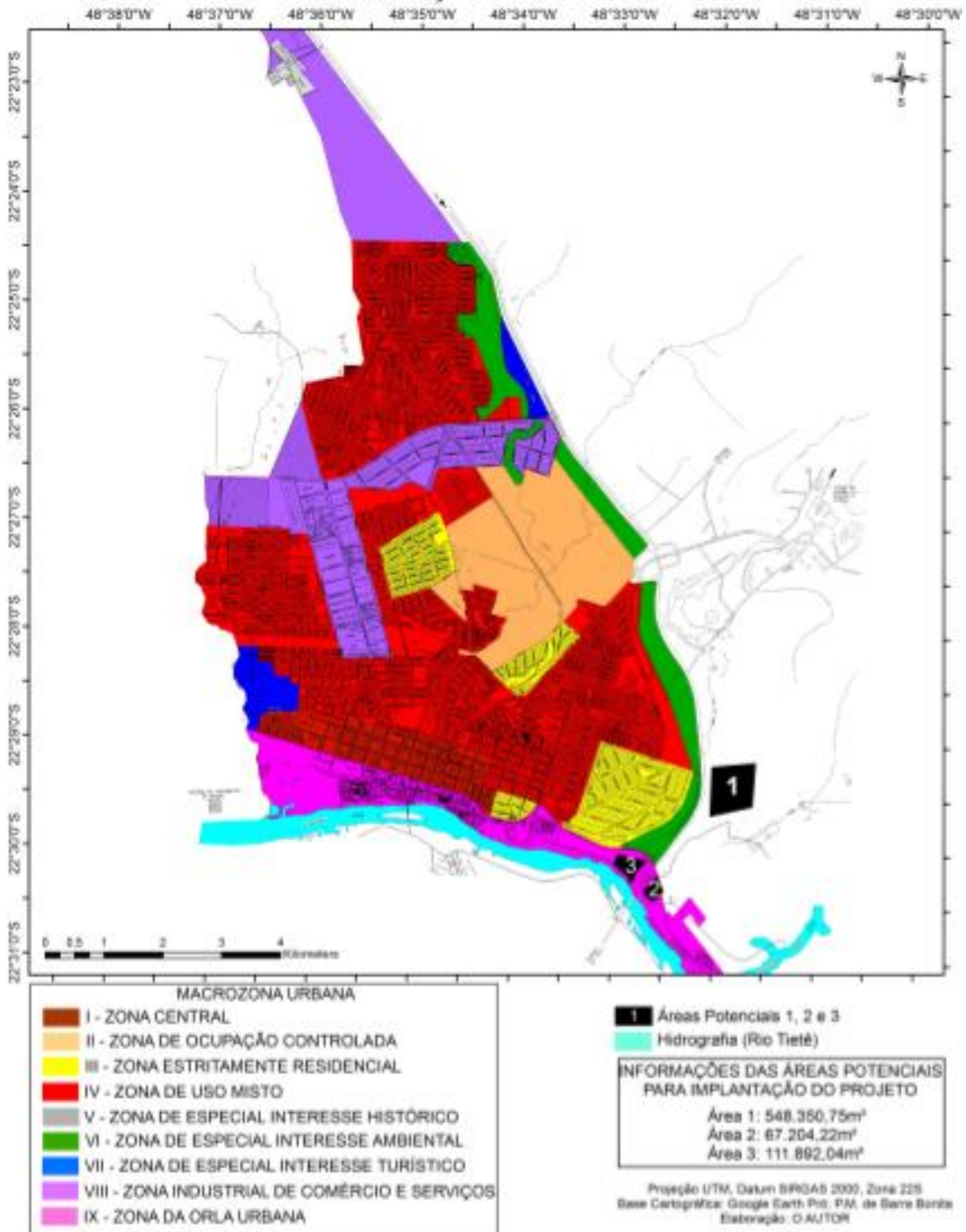
FONTE: Adaptado do Google Earth, imagem de 13/05/2015

A Rosa dos Ventos da região demonstra uma direção predominante dos ventos de Leste-Sudeste, o que torna as três áreas propícias a causarem transtornos na zona urbana em caso de problemas operacionais do sistema, que em condições normais não apresentam essas características. As áreas 02 e 03 tornam-se ainda mais sensíveis, por atingirem diretamente a zona turística e comercial da Estância Turística de Barra Bonita, já Área 01 atinge uma menor porção da zona urbana e não teria incidência nas áreas turísticas e comerciais.

O segundo critério utilizado para verificar a aptidão das três áreas potenciais para implantação do projeto foi a associação dos pontos com as diretrizes do Plano Diretor Participativo de Desenvolvimento Integrado da Estância Turística de Barra Bonita – SP, instituído pela Lei Complementar nº 75 de novembro de 2006.

O documento faz uma divisão padrão em zona rural e zona urbana, como também classifica a zona urbana em macrozonas de acordo com suas características de uso. Foram incluídos no mapa de macrozonas urbanas a localização das áreas potenciais para instalação do sistema de wetlands, conforme apresentado na Figura 29.

FIGURA 29 - MAPA DA DELIMITAÇÃO DAS MACROZONAS URBANAS NA ESTÂNCIA TURÍSTICA DE BARRA BONITA, COM A INCLUSÃO DAS ÁREAS POTENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DO PROJETO



FONTE: Anexo E do Plano Diretor Participativo de Desenvolvimento Integrado do Município da Estância Turística de Barra Bonita

A Área 01 está localizada fora da zona urbana do município, portanto não é contemplada em nenhuma das macrozonas urbanas. Já as áreas 02 e 03 estão inseridas dentro da Zona XI – Orla Urbana, que define as diretrizes de uso no Artigo 104, como pode ser verificada a seguir:

Artigo 104 - A Zona da Orla Urbana terá como diretrizes:

- I – Promover a requalificação das áreas públicas de forma a valorizar a orla turística;
- II – Implantar projetos e obras que respeitem as características históricas e culturais do município;
- III – Incentivar atividades de entretenimento, com a finalidade de ampliar o fluxo turístico e o consumo de bens e de serviços locais;
- IV – Priorizar a realização de empreendimentos turísticos em áreas não ocupadas da orla turística;
- V – Promover melhorias no sistema de iluminação pública;
- VI – Preservar e recuperar os prédios de interesse histórico e cultural.

As diretrizes descritas não impedem a implantação do projeto nas Áreas 02 e 03, mas trazem alguns pontos de atenção como a necessidade de implantar projetos que respeitem as características históricas e culturais do município, de ocupar as áreas vagas na orla com empreendimentos turísticos e o incentivo a implantação de atividades de entretenimento, o que pode trazer questionamentos da população em relação aos benefícios reais do projeto para o município, já que também se refere a uma estação de tratamento de efluentes e não só de um parque urbano.

O Plano Diretor também traz em seu Capítulo IV, Artigo 45, as diretrizes a serem adotadas pelo poder executivo para expansão do turismo no município de Barra Bonita, as quais estão resumidas a seguir:

Artigo 45 - No processo de expansão do turismo, o Poder Executivo adotará as seguintes diretrizes:

[...]

III - Requalificação dos diversos espaços da orla turística, de modo a compatibilizar seus elementos históricos, culturais e ambientais com futuras intervenções urbanísticas, mantendo as peculiaridades do Município;

IV - Revitalização de locais e eventos históricos e culturais, de forma a resgatar a identidade turística local e a da comunidade;

[...]

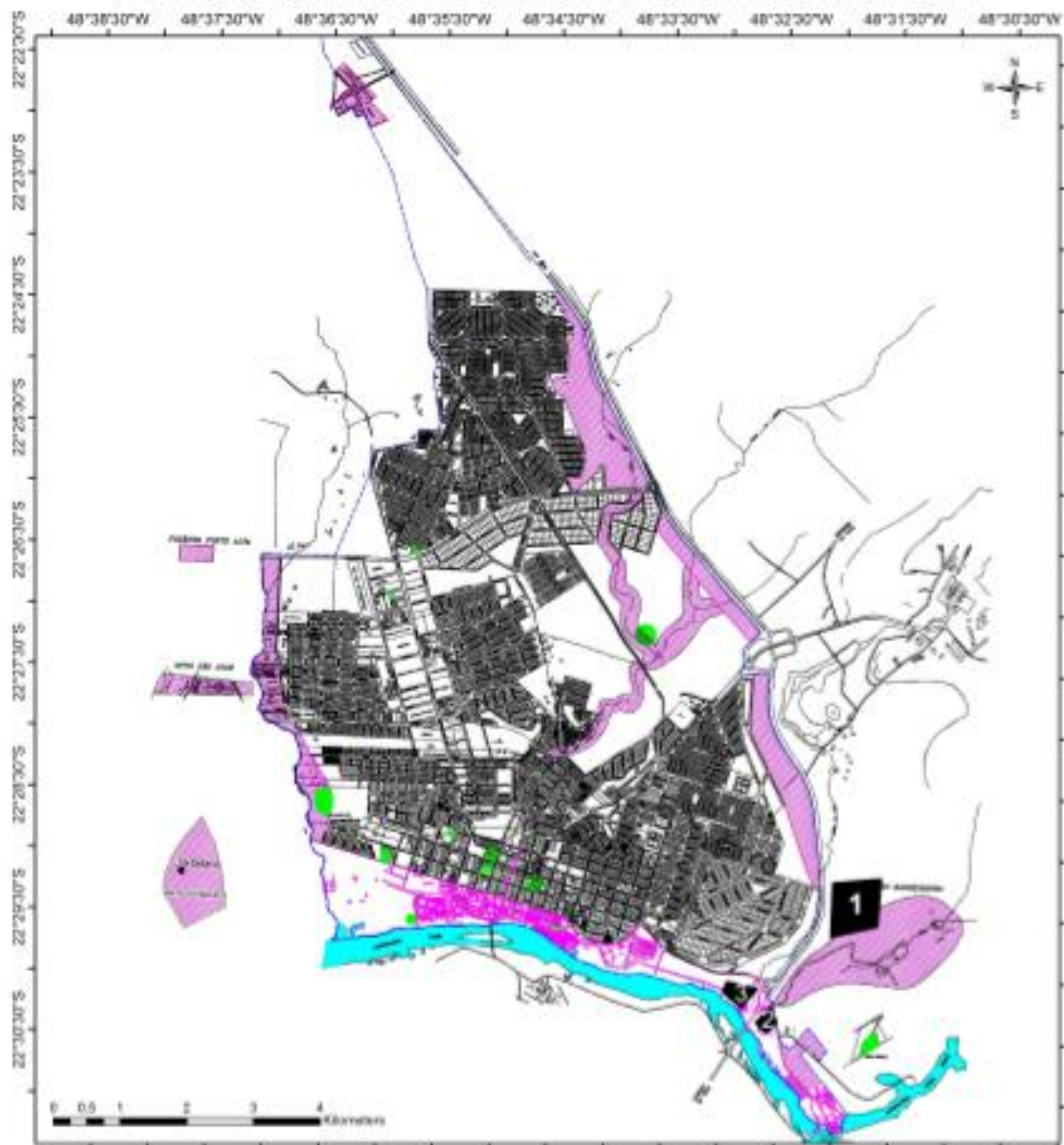
IX - Apoio a iniciativas particulares que visem a abertura de estabelecimentos de comércio voltados ao turismo tais como restaurantes, hotéis, pousadas, bares, lanchonetes, entre outros;

X - Incentivo ao turismo rural e ao agro turismo, integrando-os ao circuito turístico regional;

XI - Estímulo ao turismo ecológico.

Em complemento ao Artigo 45, o Plano Diretor Participativo de Desenvolvimento Integrado da Estância Turística de Barra Bonita – SP também traz uma delimitação das Áreas e pontos de Especial Interesse turístico indicados no mapa do município em seu Artigo 47, como parte das ações para fomentar o turismo sustentável, conforme apresentados na Figura 30.

FIGURA 30 - MAPA DA DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS E PONTOS DE ESPECIAL INTERESSE TURÍSTICO NA ESTÂNCIA TURÍSTICA DE BARRA BONITA



LEGENDA

- Áreas Potenciais 1, 2 e 3
- Hidrografia (Rio Tietê)
- Áreas e Pontos de Especial Interesse Turístico**
- Áreas de Especial Interesse Turístico
- Pontos de Especial Interesse Turístico
- Proposta do Perímetro Urbano Unificado

INFORMAÇÕES DAS ÁREAS POTENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DO PROJETO

Área 1: 548.350,75m²
 Área 2: 87.204,22m²
 Área 3: 111.892,04m²

Projeção UTM, Datum SFRGAS 2000, Zona 22S
 Base Cartográfica: Google Earth Pro, P.M. de Barra Bonita
 Estratificação: O AUTOM

FONTE: Anexo E do Plano Diretor Participativo de Desenvolvimento Integrado do Município da Estância Turística de Barra Bonita

As Áreas 02 e 03 sobrepõem pequenos trechos grifados como área de especial interesse turístico e apesar de não haver essa atividade em ação nos locais, implica no atendimento das diretrizes definidas no Plano Diretor para o desenvolvimento do turismo do município. Fato que pode gerar questionamentos se a implantação de um sistema de tratamento é o melhor uso a se dar para essas áreas, por estar localizado na margem do rio Tietê e conseqüentemente apresentarem um potencial mais elevado de desenvolvimento do turismo local com aplicação de outras atividades.

A Área 01 também tem parte contida dentro de áreas delimitadas como de especial interesse turístico, a qual atualmente não apresenta desenvolvimento de atividades desse ramo e é ocupado basicamente por produção agrícola, o que pode ajudar a alavancar a atividade turística nesses locais, seguindo uma das diretrizes estabelecidas no Plano Diretor. Outro aspecto positivo da Área 01 é não ser tão próxima às zonas urbanizadas, o que reduz conflitos para aceitabilidade do projeto, por se tratar de um sistema de tratamento de efluentes.

O último requisito para que o local possa receber o projeto é ter área disponível para implantação das células do sistema wetlands somado à inclusão das instalações necessárias de um parque urbano. As áreas dos três locais potenciais determinados para implantação do projeto estão descritas a seguir:

- Área 1: 548.350,45 m²
- Área 2: 67.204,82 m²
- Área 3: 111.892,04 m²

A necessidade de uma área mínima de 482.895,00 m² evidenciada como ideal para implantação do Cenário 01, tido como a maior área necessária calculada no pré-dimensionamento, desqualifica as Áreas 02 e 03 para o projeto e torna a Área 01 como a única apta.

A soma dos fatores descritos torna a Área 01 como a mais adequada para implantação do projeto, por atender todos os requisitos determinados e assim ser eleita como a melhor opção em termos técnicos e legais para a execução de uma estação de tratamento com uso da tecnologia de wetlands associado a um parque de visitação pública.

5.3.1 Análise dos potenciais paisagísticos, urbanísticos e sociais do sistema de wetlands.

O sistema de tratamento de wetlands, já por conceito, traz a alternativa de somar ao projeto de implantação algumas outras funções além da sua atividade principal de tratamento de efluentes líquidos. Isso traz um diferencial para essa tecnologia, já marcada pela simplicidade operacional, eficiência, além do baixo custo de implantação e operação.

Por ser um tratamento que busca espelhar as condições naturais de áreas alagadas e brejosas, utilizando para isso vegetação natural, meio suporte (britas, seixo, areia, entre outras) e técnicas de engenharia, associam-se a ele predicados como belas paisagens, sustentabilidade, opções de lazer e até temperaturas mais amenas. Características que tornam essa tecnologia atrativa, para que haja a agregação do seu uso com a de um parque, tamanha é a similaridade com os benefícios oferecidos por esses ambientes nas cidades, conforme visto no item 3.7.

Há também desafios a serem enfrentados para tornar os benefícios potenciais oferecidos pelo sistema de wetlands efetivos na prática, e assim fornecer à população as mesmas funções sociais, ambientais, educacionais e de entretenimento de parques e praças nas zonas urbanas.

Após o levantamento de experiências de wetlands já implantadas para diversos fins e em diferentes locais do mundo, como também compará-las a parques urbanos tradicionais e seus atrativos, realizou-se um diagnóstico do que poderia ser fornecido de benefícios às cidades, e conseqüentemente, a seus habitantes, caso um sistema de wetlands fosse implantado consorciado a um parque de visitação pública, mapeando também os principais desafios a serem enfrentados e as melhores soluções para eles. O diagnóstico está sintetizado no Quadro 4.

Quadro 4 – Diagnóstico dos potenciais benefícios do sistema de wetlands, assim como desafios e soluções.

Potencial	Benefícios	Desafios	Soluções
Beleza cénica	<ul style="list-style-type: none"> - Tratamento espelhado em formações naturais de beleza cénica comprovada; - Formação de canteiros com vegetação similares a parques; - Possibilidade de operação com espelho d'água; 	<ul style="list-style-type: none"> - Manutenção constante da vegetação; - Destinação correta biomassa gerada pelo sistema; - Associação de vegetação ornamental para uso em wetlands; - Dimensionamento englobando exigências hidráulicas e beleza cénica; 	<ul style="list-style-type: none"> - Otimização da manutenção com uso de ferramentas eficientes (podadeiras a motor, trituradoras, etc) - Uso da biomassa para queima em caldeiras e produção de energia; - Escolhas de espécies ornamentais para tratamento de efluentes; - Elaboração de projetos eficientes hidráulicamente com linhas arquitetônicas atrativas ao público;
Microclima	<ul style="list-style-type: none"> - Água é um regulador natural do clima; - Evapotranspiração das plantas ajudam a controlar a temperatura; 	<ul style="list-style-type: none"> - Geração de odores desagradáveis caso sejam mal projetados/ operados; - Potenciais criadores de insetos; 	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensionamento correto de projeto; - Controle do nível do sistema (fluxo Subsuperficial) e uso de controles químicos não tóxicos;
Educação ambiental	<ul style="list-style-type: none"> - Exemplo para a sociedade da possibilidade de tratamento de efluentes de forma sustentável; 	<ul style="list-style-type: none"> - Comprovação prática dos benefícios socioambientais do sistema; - Implantação / Manutenção de estrutura física e humana para receber público; 	<ul style="list-style-type: none"> - Implantação de estruturas físicas sustentáveis de baixo custo; - Parceiras com instituições de pesquisa e ensino;
Lazer	<ul style="list-style-type: none"> - Uso da área ao entorno do sistema como vias para circulação de pessoas, bicicletas, entre outras e desenvolvimento de atividades ligadas à cultura, lazer, educação, etc. - Local agradável para apreciação da fauna e flora associadas ao sistema; 	<ul style="list-style-type: none"> - Risco de contato dos visitantes / usuários com o efluente em tratamento; - Uso do local para prática de atividades ilícitas (Uso de substâncias proibidas, assaltos, degradação das estruturas físicas) - Implantação / Manutenção de estrutura física e humana para receber público; 	<ul style="list-style-type: none"> - Isolamento físico eficiente da área do tratamento sem prejudicar os aspectos visuais; - Orientação dos usuários sobre as regras de visitação do local; - Implantação de controle de acesso e horários de funcionamento;
Financeiro	<ul style="list-style-type: none"> - Valorização das áreas urbanas ao entorno; - Elevação do turismo local com a implantação de um novo atrativo; - Possibilidade de uso de áreas de menor valor; 	<ul style="list-style-type: none"> - Degradação física das estruturas do parque; - Imagem negativa de sistemas de tratamento de efluentes próximos a núcleos urbanos (geração de odores e vetores, estruturas de baixo potencial paisagístico, etc) - Custo elevado para aquisição de grande áreas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Constante manutenção, implantação de controle de acesso e vigilância; - Trabalho de conscientização da população e de turistas quanto aos benefícios do sistema; - Projeto levando em consideração as características ambientais, sociais e urbanísticas locais. - Utilização de áreas próprias ou menos valorizadas.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Silva (2007), Salati et al. (2009), Monteiro (2009), Kadlec & Wallace (2008), Mendonça (2011), Biudes (2007), Platzer (2007), Malan (2009), Vymazal and Kropfelová (2008), Hannes (2014), Jonh Todd Ecológica Desing, Brix et al (2007), Zanella (2008), Yamamoto & Canali (2012), Bargas e Matias (2011), Pombo (2015), Silva & Pasqualetto (2013), Oliveira et al. (2014), Hildebrand et al. (2001). Araujo (2014)

Os inúmeros benefícios potenciais a serem fornecidos com a implantação de um parque consorciado a um sistema de tratamento por wetlands no município de Barra Bonita, SP, descritos anteriormente, são consistentes e viáveis, por já existirem e serem praticados em experiências similares em outros locais do mundo.

O fornecimento desses benefícios ao público-alvo por completo estão intrinsecamente ligados a uma análise criteriosa dos desafios diagnosticados, para que eles possam ser sanados através de um planejamento de projeto, que vise dar soluções para problemas já ocorridos em outros sistemas semelhantes.

As soluções apresentadas para os desafios apontados como riscos para o sucesso do projeto são viáveis e comprovadamente eficazes, por já serem testadas na prática em outros projetos e desta forma aumentam segurança na proposição desse projeto. No caso do custo da área, este problema é minimizado, tendo em vista as áreas 1 e 2 disponíveis serem já de propriedade do empreendimento.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do sistema de wetlands para tratamento de efluentes gerados por empreendimento do setor sucroenergético, devido as suas características similares ao esgoto doméstico em termos de relação DBO/DQO e experiências de bem sucedidas na implantação após tratamento por lagoas, indica sucesso no seu uso para assegurar o atendimento de 80% de eficiência na remoção de DBO do sistema como um todo, com o acréscimo de 62% somente pelo sistema wetlands verificados nos Cenários 01 e 02.

O Cenário 02 é mais atrativo em termos de execução por demandar uma menor área a ser ocupada com o projeto, mas é necessário implantar melhorias no sistema de lagoas utilizado atualmente pelo empreendimento, a fim de alcançar a eficiência de 75% de remoção da carga orgânica, antes do pós-tratamento a ser implantado com a tecnologia de wetlands.

Por existirem poucas pesquisas de tratamento específico de efluentes gerados por esse seguimento com o uso de wetlands, indica-se a implantação de um sistema piloto para principalmente avaliar o comportamento da wetlands perante colmatação do meio suporte, crescimento da vegetação, geração de odores, proliferação de vetores, nutrientes e eficiência. Comportamentos que podem influenciar diretamente na aceitabilidade do parque a ser construído em consórcio com o sistema de tratamento, caso não sejam corretamente gerenciados.

A alternativa da Área 01 atendeu aos requisitos de localização, de disponibilidade de área para implantação das instalações e das diretrizes definidas pelo Plano Diretor Participativo de Desenvolvimento Integrado do Município de Barra Bonita, portanto é o local ideal para implantação do sistema de tratamento por wetlands associado a um parque de visitação pública.

Apesar dos problemas que possam ocorrer durante a operação do sistema de tratamento, já listados anteriormente, foram apresentados uma série de benefícios que o consórcio da implantação da wetlands com um parque pode trazer para os habitantes dos Municípios de Barra Bonita e

Igarçu do Tietê, tornando sua implantação viável em termos ambientais, urbanísticos e sociais.

7 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, W. **Pampulha: uma experiência dos “turistas moradores” de Belo Horizonte via arquitetura e design.** 29ª Reunião Brasileira de Antropologia, Natal/RN, ago/2014.

ARRUDA, J.; SÁ CARNEIRO, A.R. **A Estética urbana no projeto de Saturnino de Brito.** (1887-1929). Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano)-MDU/UFPE,2006.Paisagem Ambiente: ensaios -n.22, São Paulo,p.110-121.Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/paam/issue/view/6993>>. Acesso em: mar.2016.

BARRA BONITA. Câmara Municipal. **Lei complementar nº75 de 27/de Dezembro/2006.** Institui o Plano Diretor Participativo da Estância Turística de Barra Bonita. Disponível em:<<http://www.camarabarrabonita.sp.gov.br>>.Acesso em: Dez.2016

BARGOS, D.C; MATIAS, L.F. **Áreas verdes urbanas: um estudo de revisão e proposta conceitual.** Piracicaba - SP, v.6,n.3,p.172-188,2011.Disponível em: <www.revsbau.esalq.usp.br/artigos_cientificos/artigo>. Acesso em: fev.2016.

BELO HORIZONTE. **Prefeitura Municipal.** Disponível em:<<https://prefeitura.pbh.gov.br>>. Acesso em: dez.2016

BIUDES, J. F.; CAMARGO, A. F.M. **Uso de macrófitas acrófitas aquáticas no tratamento de efluentes de aquicultura.** (S.L) Disponível em:<[www.ablimno.org.br/boletins/pdf/bol_38\(2-1\).pdf](http://www.ablimno.org.br/boletins/pdf/bol_38(2-1).pdf)>. Acesso em: Jan.2016.

BRASIL. **lei nº 10.257, de 10 de Julho de 2001.** Regulamenta os arts182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Presidência da República Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm>. Acesso em: nov.2015.

BRASIL,M.S.;MATOS,A.T. **Avaliação dos aspectos hidráulicos e hidrológicos de sistemas alagados construídos de fluxo subsuperficial.** Engenharia Sanitária e Ambiental. v.13,n.3,p.323-328,Jul/Set2008.Disponível em:<[http// www.scielo.br](http://www.scielo.br)>.Acesso em: dez.2016.

BRIX,H.; THAMMARATT, K. **Wastewater treatment in tsunami affected areas of Thailand by constructed wetlands.** Water Science& Technology,(S.L),V.56,n.3 p.69-74 February 2007. Disponível em:<<https://www.researchgate.net/publication/6037316>>. Acesso em: Jan.2016.

CANO, V. **Dimensionamento de wetlands construídos, visando reuso de água.** Simpósio Científico de Gestão Ambiental, v.1, Maio/ 2010 -ESALQ-USP,

Piracicaba-I SIGA Ciência. Disponível em: <<http://www.esiga.org.br/sigaciencia>>. Acesso em: fev.2016.

CEPAGRI: **Centro de pesquisa meteorológica e climáticas aplicadas á agricultura**. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/index.html>>. Acesso em: abr.2016.

CETESB. **Licenciamento ambiental**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>> Acesso em: Nov. 2016.

CHAGAS, et al. **Cinética de remoção de matéria orgânica em sistemas alagados construídos cultivados com Lírio amarelo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, n.11,p.1189-1192,2011.Disponível em <<http://www.agriambi.com>>. Acesso em: Dez.2016.

ESTEVES, F., A. Fundamentos de Limnologia. 2ª Ed. – Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FLORIANO, C. **Roberto Burle Marx: Jardins do Brasil, a sua mais pura tradução**. Tradução de Maty Lice Brancher Gueiye. Florianópolis-SC. Esboços, v.13,n.15,UFSC,nov.2006.Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/esbocos/issue/view/51>>. Acesso em: abr.2016

GAPSKI, Y.C.R.; CANALI, N. E. **Importância das wetlands para qualidade das águas na região metropolitana de Curitiba-Pr**. Revista Geografar, Curitiba-Pr, v. 7, n. 1, p. 161-189, jun.2012.

HANNES, E. **O parque da Juventude: inserção ambiental e sustentabilidade**. Revista Labverde, São Paulo, n. 8, p. 10-15, jun. 2014.

HILDEBRAND, E;GRAÇA,L.R;HOEFLICH,V.A. **"Valoração contingente" na avaliação econômica de áreas urbanas**. Curitiba-Pr, Floresta, v.32,n.1,p.121-132,2002.Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta>>. Acesso em: abr.2016.

HONG KONG WETLAND PARK PUBLIC. Disponível em: <<http://www.wetlandpark.gov.hk/en/>> Acesso em: dez.2016

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **(IBGE) Censo demográfico de 2010**. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: nov.2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **(INMET)**.Disponível em: <www.inmet.gov.br/portalindex.php?r=estacoes?estacoesautomaticas>. Acesso em: out.2016

John Todd Ecological Design: Disponível em: <<http://www.toddecological.com/index.php?id=projects>>. Acesso em: mar.2016.

KADLEC, R.H.; SCOTT, D.W. **Treatment wetlands**. 2nd, © 2009 by Taylor & Francis Group, LLC- New York, p. 965.

MACEDO, S.S. **O Paisagismo moderno brasileiro-além de Burle Marx**. São Paulo. Paisagens em Debate, FAU-USP-SP-n.1,out/2003. Disponível em: < <http://www.fau.usp.br/deprojeto/gdpa/paisagens>> Acesso em: abr /2016

MALAN, H.L. et al. **Wetlands and invertebrate disease hosts: we asking for trouble?** School of Biological & Conservation Sciences, p. 753-764, Pretoria- South África, fev.2009.

MELO, J.F.; Lindne, E. A. **Dimensionamento comparativo lagoas versus wetlands para o tratamento de esgoto em bairro de Campos Novos, SC**. Unoesc & Ciência - ACET, Joaçaba, v. 4, n. 2, p. 181-196 jul./dez. 2013. Disponível em: < <http://editora.unoesc.edu.br/index.php/acbs/issue/view/119>>. Acesso em: abr.2016.

MELO, J. et al. **Tratamento de efluente da indústria sucroalcooleira através de processos oxidativos avançados**. In: 5^o Encontro Nacional de Tecnologia Química. ago.2012, Maceió. Disponível em: < <http://www.abq.org.br/entequi>>. Acesso em: mar.2016.

MENCHERO, M.S. **Cinco cuadros al fresco: los jardines de recreo em Madrid**. (1860-1890). Culturales. Vol. V, num.9, Enero-Junio, 2009. Universidad Nacional Autónoma de México Disponível em: < file:///D:/Downloads/Cinco%20cuadros%20al%20fresco_Jardines%20en%20Madrid_Mencher0_2009.pdf>. Acesso em: abr.2016.

MENDONÇA, H. V. **Avaliação da eficiência de sistemas alagados construídos em operação por bateladas no tratamento de efluentes da indústria de laticínio**. 2011, 113 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia)- Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora. Disponível em: < <http://www.ufjf.br/ecologia/rh/producao-cientifica/dissertacoes/ano-2011>>. Acesso em: mar.2016.

MONTEIRO, R. C. M. **Viabilidade técnica do emprego de sistemas tipo "wetlands" para tratamento de água e cinza visando o reúso não potável**. 2009. 84 f.. Dissertação (Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

OLIVEIRA, S.; VAZ, T.; ANDRADE, H. **Perception of thermal comfort by users of urban green areas in Lisbon**. Lisboa, Finisterra, v.49,n. 98, 2014, p.113-131. Disponível em: < <http://revistas.rcaap.pt/finisterra/article/view/6464>>. Acesso em: abr.2016.

PLATZER, C. et al: **Dimensionamento de wetlands de fluxo vertical com nitrificação – adaptação de modelo europeu para as condições climáticas do Brasil**. 24^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Jun. 2007. Disponível em: < <http://www.abes-dn.org.br/eventos/abes/24cbes/boletim02.pdf>>. Acesso em: mar. 2016.

POMBO, R. M. R. **Os lagos do Ibirapuera como estruturação hídrica de um parque**. São Paulo, Revista Labverde, n.10, Artigo 7,p.157-167, Ago.2015.

Disponível em:< <http://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article>>. Acesso em: abr.2016.

SALATI FILHO E.et al: **Utilização de sistemas de wetlands construídas para tratamento de águas**. 2009,Piracicaba-SP. Disponível em:<http://www.ambiente.sp.gov.br/pactodasaguasfiles2011112/sistema_wetlands.pdf>. Acesso em: maio. 2015.

SÃO PAULO. (Estado) **DECRETO n. 8468, de 08 de set. de 1976**. Regulamento da Lei nº997, de 31 de Maio de 1976, que Dispõe sobre a prevenção do Controle da Poluição do Meio Ambiente. **Poluição Ambiental**. São Paulo, p. 6-8
9, set. 1976. Disponível em:<<http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/documentos/Dec8468.pdf>>. Acesso em: fev.2015.

SÃO PAULO. (Estado) **Resolução SMA n. 88, de 19 de dez. de 2008**. Define as diretrizes técnicas para o licenciamento de empreendimentos do setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo. **Licenciamento Ambiental**. São Paulo, p.14, dez. 2008. Disponível em:<http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2008_Res_SMA_88.pdf>. Acesso em: fev.2015.

SÃO PAULO (Município). **Parque Ibirapuera**. Disponível em:<<http://parqueibirapuera.org/>> Acesso em: dez.2016.

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE. **Parques e Bosques- Parque Barigui**. Curitiba-PR. Disponível em:< www.curitiba.pr.gov.br/parques-e-bosques-parque-barigui>. Acesso em: dez.2016.

SILVA, F. C. et al. **Diagnostico hídrico em destilarias de álcool em São Paulo**. Bioenergia em Revista: Diálogo, Campinas, p. 93-117, jan.2011.

SILVA, J. B.; PASQUALETTO, A. **O Caminho dos parques urbanos brasileiros: da origem ao século XXI**. Goiânia. Revista Estudos, v.40,n.3.p.287-298,jun/ago.2013. Disponível em:<<http://seer.ucg.br/index.php/estudos>>. Acesso em: maio.2016.

SILVA, S. C. **“Wetlands construídos” de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos**. 2007,231f. Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia/ Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília, maio.2007.

SOUZA, J.M. **Identidade visual para o parque Barigui**. Curitiba-Pr. UTP Universidade Tului do Paraná, 2005,89 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em:< <http://tcconline.utp.br/>>. Acesso em: dez. 2016.

SOUZA, J. T .et al. **Pós- tratamento de efluente de reator UASB utilizando sistema de wetlands construídos**. Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande-PB, v.4,p.87-91,Jan.2000.

SOUZA, P. R.; OLIVEIRA, R. M. S. **Proposta de dimensionamento de leitos cultivados (wetlands) para tratamento de esgoto sanitário**. Engenharia

Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 4, p. 242-256, out /dez. 2011.
Acesso em: mar. 2016.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. 3. Ed, - Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

VYMAZAL,J.; KROPFLOVÁ, L. **Wastewater treatment in constructed wetlands with horizontal Sub- surface flow environmental pollution.14-** Springer- November, 2007-Czech Republic, p. 561.

YAMAGATA, S. **Estudo de dispersão atmosférica de material articulado e óxidos de nitrogênio das caldeiras a bagaço de cana BARRA BIOENERGIA S/A – Unidade Barra**. Barra Bonita, fev.2013.

YAMAMOTO& CANALI. **Importância das wetlands para a qualidade das águas residuárias na região metropolitana de Curitiba**. Revista Geografar, v.7, n.1, p. 161-189, jun.2012. Disponível em:< www.ser.ufpr.br/>. Acesso em nov.2016

ZANELLA, L. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: wetlands** construídos utilizando brita e bambu como suporte. 2008. 103 f. Tese de Doutorado (Engenharia Civil e Urbanismo)- Faculdade de Engenharia Civil. Arquitetura e Urbanismo, Unicamp, Campinas - SP, 2008.

ZERWES, F. V. **Sistema de tratamento e reuso de águas residuárias em pequenas propriedades rurais: Acompanhamento e operação de estação no vale do Rio Pardo - RS**. 2013. 23 p. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental - Mestrado)- Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul-RS.

ZHEJIANG. **Quzhou Luming Park**. Disponível em: < <http://www.turenscape.com/project/detail/435.html>>. Acesso em: jul.2016).