

IMPLANTAÇÃO DE *WETLANDS* CONSTRUÍDAS NO ESTADO DE SÃO PAULO: ANÁLISE DE VIABILIDADE ECÔNOMICA

Luiz Guilherme Marques Jazbinsek⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Mackenzie com extensão em análise de estruturas de concreto armado pela Faculdade de Engenharia São Paulo. Atua em projetos de cálculo estrutural, modelagem paramétrica de Obras de Arte Especiais e detecção de patologias e falhas construtivas através de sistemas *Light Detection and Ranging* (LiDAR). Sócio-diretor da Galahad Engenharia.

Rolando Gaal Vadas⁽²⁾

Engenheiro Civil com especialização em Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos, Doutorado pela Colorado State University e Mestrado pela Katholieke Universiteit Leuven. Tem mais de 30 anos de experiência em projetos no Brasil e no exterior relacionados à saneamento e projetos de recursos hídricos e ambientais, com trabalhos realizados para a Organização dos Estados Americanos, Global Environment Facility, United Nations Environmental Program e Banco Mundial. Professor da Universidade Mackenzie.

Camila Farias Rodrigues⁽³⁾

Tecnóloga em construção civil modalidade edifícios pela FATEC São Paulo e Engenheira Civil pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. Pós-graduanda em Gestão com ênfase em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas. Atua na área de combate e controle de perdas / serviços de engenharia para interior e litoral na empresa Sabesp, realizando o planejamento e gestão orçamentária.

Vinicius Monteiro De Carvalho Back⁽⁴⁾

Tecnólogo em construção de edifícios pela FATEC São Paulo e Engenheiro Civil pela Universidade Presbiteriana Mackenzie com extensão em automação de sistemas de saneamento pelo PECE-Poli. Atua na área de combate e controle de perdas / serviços de engenharia para interior e litoral na empresa Sabesp.

Endereço: Rua Alfredo Pujol, 1844 – Santana – São Paulo – São Paulo – CEP: 02017-004 – Brasil – Tel: +55 (11) 2255-8871 – e-mail: luiz@galahad.eng.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade de implantação de sistemas de tratamento de esgoto municipal do tipo *wetlands* construídas. Compreende o levantamento inicial de escolha de local de execução, dimensionamento do sistema em função do efluente gerado pelos municípios selecionados e temperatura média anual destes, levantamento dos custos de operação e manutenção, definição de disposição e layout adequado.

Busca-se realizar um comparativo com os principais benchmarks de mercado, assim apresentando uma possível nova frente de investimento atrelada aos conceitos de meio ambiente, social e governança (ESG) uma vez que estes sistemas de tratamento podem ser implantados em meio urbano, apresentar a viabilidade de uso misto como parques e principalmente contribuir com a universalização do saneamento brasileiro prevista para 2033 de acordo com o novo marco legal do saneamento. O Objeto de estudo é Pirajuí onde contempla-se a implantação de sistemas centralizados. Verificou-se neste artigo que, apesar da maior área de implantação, existe ganhos na implantação de sistemas de *wetlands* construídas que, ao reduzir custos de operação em sistemas tradicionais, viabilizam economicamente considerando os parâmetros do case. Identificou-se que estes projetos apresentaram uma taxa de retorno de investimento em torno de 13% a 14% ao ano.

PALAVRAS-CHAVE: *Wetlands* construídas. Tratamento de efluentes. Viabilidade econômica.

INTRODUÇÃO

O Saneamento Ambiental é responsável por medidas que garantam a disponibilização de água potável, a coleta e o tratamento dos esgotos sanitários. Estes serviços são de grande importância, pois contribuem com a diminuição de doenças, a melhora da qualidade de vida e do meio ambiente ao despoluir os rios e garantir, assim, maior biodiversidade nestes ecossistemas.

Entretanto, o saneamento ambiental ainda não está integralmente implantado no Brasil, principalmente para aqueles que vivem em pequenos municípios distantes das grandes cidades. Isto se dá pelo elevado custo de implantação de infraestrutura e dos custos operacionais inerentes às soluções de saneamento tradicionais, sendo estes piorados pela distribuição de recursos hídricos nesta região.

Diversos estudos já foram elaborados e publicados pela comunidade acadêmica que busca formas de melhorar a oferta destes serviços, uma possibilidade é o uso de *wetlands* construídas, sistemas de tratamento de água com o objetivo de simular artificialmente os ecossistemas naturais de lagoas, geralmente representados por canais rasos. Este sistema apresenta uma boa capacidade de filtração de impurezas, garantindo água de boa qualidade a custos operacionais e de implantação reduzidos. Servindo também como uma área de controle de erosão e habitat para animais aquáticos.

Este sistema de saneamento possui um histórico de aplicação em países variados, das florestas temperadas na Alemanha e França até os climas áridos do Arizona e Paquistão (STEFANAKIS, 2019), exibindo resultados favoráveis e levando a maiores investimentos. Acreditamos que estes resultados possam ser replicados no Brasil.

A utilização deste sistema de saneamento pode ser uma solução para municípios pouco populosos ao ser uma construção sustentável, de baixo custo operacional e que necessita de pouca manutenção. Contudo faltam estudos compreensivos que explorem sua viabilidade como principal forma de tratamento nesta área e quais impactos trariam para a região. Complementarmente, sistemas de *wetlands* construídas podem ser implantados em ambientes urbanos e serem utilizados como ecoparques, fomentando desenvolvimento local.

Este estudo visa contemplar os pontos relevantes à concepção e utilização de *wetlands* construídas e espera contribuir para a implantação de soluções sustentáveis e econômicas para o tratamento de efluentes sanitários no Brasil verificando sua viabilidade construtiva, vantagens e limitações.

REVISÃO DA LITERATURA

A ampliação do saneamento básico com formas sustentáveis de implantação é um tópico discutido extensivamente pela comunidade acadêmica, com a construção de *wetlands* sendo uma das sugestões consideradas. Nestes estudos obtém relevância aqueles que visam verificar os efeitos destas nos efluentes e suas limitações, os tipos de *wetlands* construídas adequados às características bioclimáticas e geológicas da região a serem implantadas e aqueles que verificam a capacidade de melhora do saneamento na região, ponderando os custos de implantação e operação.

Resende et al. (2019) avaliaram os sistemas vigentes de *wetlands* construídas na Universidade São Paulo, utilizados para filtrar as águas residuárias das moradias estudantis. O estudo foi desenvolvido visando uma abordagem analítica e holística dos sistemas, avaliando sua efetividade na redução de materiais orgânicos e demanda biológica de oxigênio em conjunto dos custos de implantação e operação dos sistemas e uma análise do custo de ciclo de vida. Conclui-se o estudo com um custo de operação e manutenção de USD 0,55 por metro cúbico de água tratada.

O manual “*Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment - A Technology Assessment*” (1993) fora elaborado pela *United States Environmental Protection Agency* (EPA) e fornece amplo material para o dimensionamento efetivo de *wetlands* construídas, incluindo fatores de segurança e detalhamentos construtivos, utilizando como exemplos múltiplos sistemas implementados nos Estados Unidos para a verificação de eficácia de tratamento de efluente sanitário municipal e levantamento de custos.

O manual de Benassi et al. (2018), embasado em EPA (1993), detalha os principais componentes para a execução de uma *wetland* construída são: as macrófitas aquáticas, o material para suporte e as comunidades microbianas. Inclui os componentes encontrados no Brasil.

O relatório “Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo 2020” fornecido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) possui um estudo profundo da qualidade dos corpos de água do estado, os embasando em critérios técnicos em conjunto do controle de qualidade dos efluentes sanitários de 646 municípios no estado de São Paulo. Destacamos o apêndice J, fornecendo dados populacionais e condições de coleta, tratamento e eficiência de tratamento para todos estes municípios.

O “Diagnóstico de Serviços de Água e Esgoto - 2019” elaborado pelo Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR) disponibiliza informações similares às encontradas em CETESB (2020), porém em âmbito nacional. Complementarmente, estabelece o consumo per capita de água típico em todos estados brasileiros e, nos municípios atendidos por companhias de saneamento básico, desenvolve critérios econômicos importantes, como faturamento típico por metro cúbico coletado e tratado - informações a serem consideradas no estudo de viabilidade para determinar prazos de retorno de investimento.

A resolução 601 de 2015 da Agência Nacional de Águas elabora as condições esperadas para o projeto de estações de tratamento de esgoto tradicionais e estabelece coeficientes fixos para a estimativa de custos destas implantações, viabilizando uma comparação de montantes investidos com os encontrados em *wetlands* construídas.

Stefanakis (2020) apresenta alguns projetos bem-sucedidos de *wetlands* construídas em algumas cidades do Oriente Médio, de clima semelhante ao semiárido brasileiro, devido às altas temperaturas, elevado índice de evapotranspiração e escassez de água doce. Um dos projetos analisados, refere-se à maior *wetland* construída do mundo, na cidade de Oman.

METODOLOGIA

O procedimento metodológico adotado neste trabalho será dividido em 3 etapas: (I) revisão documental; (II) cruzamento de informações; (III) desenvolvimento do modelo e simulações.

REVISÃO DOCUMENTAL

Sendo necessária uma compreensão profunda da situação de tratamento de esgoto no Estado de São Paulo, o primeiro passo a ser executado será a avaliação da documentação relevante publicada por órgãos competentes, com destaque a MDR (2019), elencando em tabelas relações quantitativas de tratamento de esgoto a nível nacional, CETESB (2020) detalha a qualidade sanitária dos corpos de água presentes no Estado em seu apêndice J. A concentração destas informações permitirá avaliar áreas do Estado onde o modelo de saneamento de esgoto por *wetlands* construídas será mais efetivo.

Visando estabelecer um padrão de valores aceitáveis para a implantação de um sistema de tratamento de esgoto, serão considerados os montantes publicados na tabela 2 da resolução 601/2015 da Agência Nacional de Águas (ANA). Enquanto estas informações apresentam boa procedência ao vir de resoluções federais, o período 2016-2020 apresentou um processo inflacionário e, em virtude de a Agência não ter publicado atualizações desta resolução, corrigiremos os montantes presentes para valores atuais na Figura 1 abaixo, em acordância com a inflação acumulada no período publicado pelo IBGE de 123,76%:

Figura 1- Valores per Capita de Referência para Implantação de Tratamento de esgoto.

Indicador	Padrões de Eficiência para Tratamento de Esgotos								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
DBO	30%	60%	75%	85%	85%	90%	90%	90%	90%
SST	40%	60%	75%(1)	85%(1)	85%(1)	90%	90%	90%	90%
CF				99,999%		99,999%		99,999%	
PT								85,0%	85,0%
e/ou								e/ou	e/ou
NTK								85,0%	85,0%
Pop. Equivalente (hab.)	Valores per capita de referência (R\$/hab)								
até 10.000	49,50	86,63	136,14	185,64	198,02	235,15	247,52	284,65	284,65
de 10.000 a 20.000	49,50	61,88	111,38	173,26	173,26	222,77	222,77	247,52	272,27
de 20.001 a 50.000	37,13	49,50	99,01	136,14	148,51	185,64	198,02	235,15	247,52
de 50.001 a 100.000	12,38	49,50	99,01	136,14	136,14	173,26	185,64	222,77	235,15
de 100.001 a 200.000	12,38	49,50	99,01	136,14	136,14	173,26	185,64	222,77	235,15
acima de 200.000	12,38	49,50	99,01	136,14	136,14	173,26	185,64	222,77	235,15

(1) - A ANA, a seu critério, poderá considerar 60% no caso de lagoas de estabilização produtoras de algas.

Fonte: Adaptado a partir de Resolução 601/2015 – ANA

Finalmente, executa-se uma busca exploratória em agência ambientais, como a *United States Environment Protection Agency* (EPA), e agregadores científicos como Google Acadêmico, *ResearchGate* e *Multidisciplinary*

Digital Publishing Institute. Os relatórios e artigos levantados nesta busca exploratória estarão sujeitos a critérios para inclusão, como enquadramento com os objetivos levantados e clareza no fornecimento e explicação de seus textos.

CRUZAMENTO DE INFORMAÇÕES

Com o suporte das informações coletadas, se faz necessária sua devida categorização e análise. Em conjunto, os dados fornecidos por CETESB (2020) e MDR (2019) nos fornecem um panorama amplo do tratamento de esgoto no Estado ao relacionar cargas poluidoras com populações urbanas, razões de coleta e tratamento, volumetria de efluentes e montantes financeiros, subdividindo estes em faturamento e margem de lucro. Escolhe-se o modelo de tratamento de esgoto municipal fornecido em EPA (1993), visto Benassi et al. (2018) adaptarem o texto às condições nacionais.

DESENVOLVIMENTO DE MODELO E SIMULAÇÕES

Varma et al. (2020) identifica a variação na eficiência de redução de DBO no tratamento de águas com *wetlands* construídas, atribuindo como justificativa a variação de temperatura encontrada em um ano. EPA (1993) corrobora esta colocação, estabelecendo um fator de dependência térmica fornecido abaixo, como equação 1:

$$K_T = K_{20} * \theta^{(T-20^{\circ}C)} \quad (1)$$

Onde:

$$K_T = \text{Constante de Decaimento para T graus Celsius, em } dia^{-1}$$

$$K_{20} = \text{Constante de Decaimento para 20 graus Celsius, em } dia^{-1}$$

$$\theta = \text{Coeficiente de Temperatura, adimensional}$$

$$T = \text{Temperatura estudada, graus Celsius}$$

Benassi et al. (2018) avançam os valores fornecidos por EPA (1993), estabelecendo constantes de decaimento para múltiplas substâncias.

O Estado de São Paulo apresenta elevada amplitude térmica anual, e a presença de microclimas diversos não viabilizam um modelo único padronizado de *wetlands* construídas para toda região. Para análise de eficácia de nossos modelos, adotaremos as séries históricas de temperaturas fornecidas por *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) em seu banco de dados NASA POWER, considerando prazos de 10 anos no mínimo.

Através de análise computacional, o K_T médio da região poderá ser encontrado, e análises probabilísticas poderão indicar a eficiência mínima do modelo com a maior precisão possível.

A região sudeste possui um consumo per capita típico de aproximadamente 200 litros por dia, conforme quadro 7.1 em MDR (2019), ao cruzarmos esta informação com o dado Carga Poluidora remanescente (kgDBO/dia) presente no apêndice J de CETESB (2020), possuiremos a concentração de carga poluidora por litro de esgoto. Esta adaptação será feita através da equação 2:

$$DBO_{5,20}^{Remanes.} = \frac{DBO_{dia}^{kg} * 10^6}{P * q} \quad (2)$$

Em que:

$$DBO_{5,20}^{Remanes.} = \text{Demanda Bioquímica de Oxigênio conforme NBR 12.614/92, em mg/l}$$

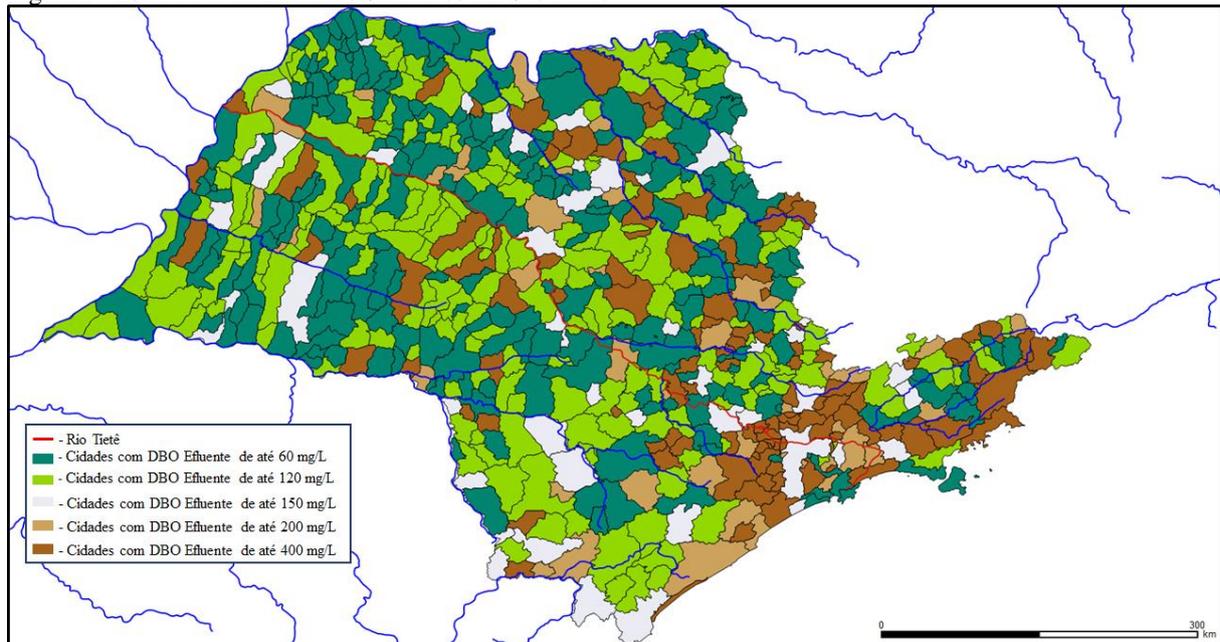
DBO_{dia}^{kg} = Demanda Bioquímica de Oxigênio disposta no apêndice J de CETESB (2020)

P = População municipal disposta no apêndice J de CETESB (2020)

q = Consumo per capita médio, em l/(hab*dia). Adota-se 200 l/(hab*dia).

Aplicando esta equação a todos municípios listados, e em conjunto dos códigos de municípios listados em MRD (2019), pode-se gerar um mapa da condição estimada dos efluentes sanitários municipais no Estado com o auxílio de software de geoprocessamento QGIS, disposto em figura 2:

Figura 2 - Estimativa de Efluentes Sanitários em São Paulo



Fonte: Elaboração dos autores

Para simulação de área necessária, serão consideradas *wetlands* construídas de fluxo horizontal subsuperficial e utilizadas as equações estabelecidas em EPA (1993), adotando como constante a razão largura: comprimento de 1:3, profundidade constante de 0,60 metros e substrato de referência brita tipo 1. Conforme indicado, serão projetadas considerando como coeficiente de segurança a capacidade de esgotamento efetiva correspondente a 70% de sua capacidade total e, através de análise probabilística por distribuição normal acumulada considerando a série histórica de 10 anos de temperatura, atendimento da concentração de DBO conforme CONAMA (2011) em ao menos 90% do tempo do plano. Conforme a equação 3:

$$A_{WC} = \frac{Q * \ln(C_a * C_e^{-1})}{K_t * d * n} \quad (3)$$

Onde:

Q = vazão média no sistema (m³/dia)

C = concentração de poluentes no afluente (mg/l)

C_e = concentração de poluentes no efluente (mg/l)

K_t = constante de decaimento local (d⁻¹)

d = profundidade da *wetland* (m)

n = porosidade efetiva do substrato (porcentagem em decimal)

Conforme sistemas de *wetlands* construídas para as situações locais são desenvolvidos, serão formuladas análises de custo para a implantação destes, embasada no Sistema Nacional de Custos e Índices (SINAPI), seguido de comparação com os modelos de saneamento tradicionais através dos valores per capita já estabelecidos em Figura 1.

RESULTADOS E DICUSSÕES

SANEAMENTO BRASILEIRO - PANORAMA TARIFÁRIO

Conforme as tabelas disponibilizadas por MDR (2019), notoriamente as tabelas relativas a prestadores de serviços de abrangência local de empresas privadas (LEP), de direito privado com administração pública (LPR) e de direito público (LPU), podemos extrair os quantitativos volumétricos e financeiros relativos ao saneamento no país. Como consequência da segregação de fontes de receita entre fornecimento de água, coleta e tratamento de esgoto, em conjunto ao fornecimento da margem operacional de lucro apresentada por município, podemos estimar a margem de custo operacional média de coleta e tratamento de esgoto no país. Optou-se por considerar somente municípios cujo faturamento de coleta e tratamento de esgoto demonstravam representatividade superior a 40% da receita anual, obtendo-se assim uma margem média de custo operacional de 67,3% para a coleta e tratamento de esgoto no país.

Cruzando os quantitativos volumétricos contra os financeiros, pode-se avaliar taxas médias cobradas pela coleta e tratamento de esgoto no país. Visto a aplicação destas taxas a uma população de 37 milhões de brasileiros nas tabelas mencionadas, avalia-se que a simplificação estratégica para tarifa média por unidade de volume contribuída não fornecerá grandes distorções a este estudo. Assume-se uma alíquota de 25% para estimativa de imposto de renda de pessoa jurídica (IRPJ). Temos estes valores separados por região na figura 3:

Figura 3 - Estimativa de tarifas médias para coleta e tratamento de esgoto:

Região	Faturamento (R\$/m ³)	Custo Operacional (R\$/m ³)	IRPJ (R\$/m ³)	Lucro Líquido (R\$/m ³)
Nordeste	R\$ 0,92	R\$ 0,69	R\$ 0,06	R\$ 0,17
Norte	R\$ 1,49	R\$ 1,12	R\$ 0,09	R\$ 0,28
Sudeste	R\$ 1,12	R\$ 0,84	R\$ 0,07	R\$ 0,21
Centro-Oeste	R\$ 2,13	R\$ 1,60	R\$ 0,13	R\$ 0,40
Sul	R\$ 1,88	R\$ 1,41	R\$ 0,12	R\$ 0,35
MÉDIA	R\$ 1,50	R\$ 1,13	R\$ 0,09	R\$ 0,28

Fonte: Adaptado a partir de MDR (2019)

VIABILIDADE ECONÔMICA EM SISTEMAS DE SANEAMENTO

A viabilidade de um empreendimento está diretamente ligada à relação entre o custo de sua implantação e o faturamento gerado anualmente, podemos considerar como retorno de capital investido - *Return of Invested Capital* ou RoIC - através da equação 4:

$$RoIC (\%) = \frac{\text{Lucro Líquido Anual Estimado}}{\text{Custo de Implantação}} \quad (4)$$

Um investimento não deve ser definido como viável considerando somente sua taxa de retorno, se faz necessário considerar o ambiente econômico onde ele está inserido. As operações de investimento no Brasil apresentam grande centralização junto à bolsa de valores brasileira, a B3, onde esta coleta e processa as informações médias de mercado junto a um índice, o IBOVESPA. Para um prazo de 21 anos, de Janeiro de 2000 a Dezembro de 2020, houve um retorno médio de 9,9% ao ano. Comparativamente, a B3 também informa o retorno para investimento de mínimo risco, Certificados de Depósito Interbancários, que obtiveram um retorno médio de 12,37% neste mesmo período.

Conforme fora demonstrado no quadro 2, existe uma notória variação regional no faturamento e lucro para sistemas de coleta e tratamento de esgoto. MDR (2019) também nos fornece o consumo médio de água para estas, normaliza-

se as tarifas para as contribuições regionais e estima-se lucros anuais per capita na figura 4, adotando uma taxa de contribuição equivalente a 80% do consumo:

Figura 4 - Estimativa de Tarifas Médias para Coleta e Tratamento de Esgoto:

Região	Consumo Diário (l/hab/dia)	Contribuição Anual (m ³ /hab)	Lucro Anual (R\$/hab)
Norte	129,10	37,70	R\$ 10,46
Nordeste	120,60	35,22	R\$ 6,07
Centro-Oeste	147,80	43,16	R\$ 17,16
Sudeste	177,40	51,80	R\$ 10,88
Sul	146,40	42,75	R\$ 15,07
MÉDIA	144,26	42,12	R\$ 11,69

Fonte: Adaptado a partir de MDR (2019)

Observam-se as regiões com lucro mínimo e máximo sendo a Norte (R\$10,46) e Centro-Oeste (R\$17,16), respectivamente. Considerando as informações de implantação presentes no quadro 1 e a expectativa de retorno no quadro 3, pode-se elaborar o retorno sobre capital investido com a figura 5, adotando-se o padrão de eficiência E em razão da proximidade com a eficiência de remoção de DBO encontrada nas WC de fluxo horizontal:

Figura a 5 - Estimativa de Viabilidade Econômica em Sistemas Tradicionais de Tratamento de Esgoto:



Fonte: Elaborado pelos autores.

WETLANDS CONSTRUÍDAS – CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO

Conforme demonstrado brevemente em EPA (1993) e detalhadamente em EPA (2000), os custos de implantação para um sistema de *wetlands* horizontais em fluxo subsuperficial podem ser distribuídos em 6 categorias:

1. Aquisição de Terreno: Após pesquisa em sites agregadores, pode-se considerar R\$ 200 a R\$ 250 por m² em áreas não construídas no interior de São Paulo. Adota-se o valor médio de R\$ 225,00.

2. Limpeza e Terraplenagem: Em razão das elevadas dimensões, é adotada a utilização de equipamentos mecânicos nestas etapas, como trator de esteiras.
3. Material Filtrante: Também chamado de substrato em Benassi et al. (2018), a escolha deste determina a capacidade de vazão do sistema de *wetlands* em razão da porosidade do material. Adota-se a brita número 1, cujo diâmetro médio mais se aproxima do *fine gravel* presente nas tabelas em EPA (1993).
4. Material Hidráulico: Compõe custos relativos à implantação dos materiais necessários para o sistema de *wetlands*, incluindo geomembranas, desarenadores, tanques e instalações hidráulicas.
5. Macrófitas: Parâmetro importante de custo, visto que a escolha influencia diretamente a profundidade necessária do sistema. Serão adotadas macrófitas aquáticas emergentes, do gênero *Juncus* com 0,6 metros de profundidade ou *Scirpus* com 0,8 metros. EPA (1993) observa uma elevada redução do DBO neste último. Adota-se uma proporção de 2 macrófitas por m² ocupando 50% da área de uma *wetland*.
6. Outros: Valores relativos a projetos, despesas legais e atividades diversas de construção. A ser avaliada caso a caso.

Portanto, pode-se estabelecer a figura 6, tornando estimativas de custos mais expeditas.

Figura 6 - Estimativa custos iniciais de implantação:

Tipo Serviço	Código SINAPI	Custo (R\$)	Unidade
Limpeza Preliminar	98525	0,32	m ²
Terraplenagem	101124	11,03	m ³
Geomembrana, incl. impermeabilizador	Preço Mercado	15,20	m ²
Substrato	102717	79,43	m ³
Trecho Hidraulico	92833	191,45	m
	97978	746,50	unidade
	101124	11,03	m ³
Macrófitas, incl. jardineiro	Preço Mercado	35,00	unidade

Fonte: SINAPI - 07/2021 e dados coletados de mercado. Elaboração pelos autores.

WETLANDS CONSTRUÍDAS – CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Consideram-se etapas de operação uma *wetland* construída: Limpeza e desobstrução, controle da vazão-qualidade do efluente e serviços botânicos atrelados às Macrófitas. Dentre estas se destaca, por eventual necessidade recorrente de atuação de mão obra, a limpeza e os serviços botânicos atrelados em sua maioria à gestão da biomassa.

O serviço de limpeza se trata de uma rotina de limpeza das instalações com o intuito de prevenir possíveis problemas de operação, como: acúmulo de sedimentos, formação de caminhos preferenciais e ou obstrução dos canais, diminuindo-se a vazão de operação e comprometendo a capacidade de tratamento. Em eventuais casos em que não foi possível efetuar sua devida prevenção, e porventura ocorra o entupimento do canal, será necessária a execução de serviços de desobstrução para retomada da operação.

O gerenciamento da biomassa em uma *wetland* construída é um processo presente em toda vida útil da instalação, visto que está atrelado diretamente ao ciclo biológico das macrófitas presentes na instalação. A macrófita escolhida não deve possuir sistemas de floreo que gerem pétalas, para reduzir custos de manutenção. Importante detalhe à necessidade de controlar o nível de água disponível às plantas, evitando crescimentos excessivos das raízes (EPA, 1993). Serviços como o de poda, são indispensáveis para uma boa operação uma vez que os inconvenientes apresentados por essas plantas estão associados ao seu crescimento excessivo e morte natural, o que acarreta a aceleração do processo de assoreamento e eleva os teores de nutrientes presentes durante sua decomposição. Considerando as aplicações multidisciplinares das *wetlands*, destaca-se também o cuidado em serviços botânicos em virtude do aspecto estético e ambiental principalmente quando as instalações estão compreendidas em parques e zonas públicas, e inclusive são fatores prioritários (PAOLI; VON SPERLING, 2013).

O dispositivo para medição de vazão para condutos livres mais comum é a calha Parshall, quanto a questão de medição de qualidade efluente, é o método comum trata-se de análise laboratorial por amostragem a fim de verificar se os parâmetros apresentados no efluente a ser descarregado no corpo hídrico se enquadra com os limites estabelecidos com a Resolução CONAMA nº 430/11. A automatização dos processos de controle também é possível e assim reduzindo o efetivo de mão obra, contudo é necessário realizar um estudo de viabilidade financeira, tendo em vista que o monitoramento através de telemetria apresenta um custo maior de implantação.

Conforme exposto por EPA (1993), a redução do nível de água ocasiona o crescimento de raízes das macrófitas - algo problemático visto a variação diária no consumo de água e, portanto, na contribuição de esgoto às WC; portanto, armazenar e regularizar a vazão contribuinte se faz benéfico à operação e manutenção do sistema.

Como benefício secundário, implantar um reservatório também possibilita uma zona específica de separação de material grosseiro através de gradeamento ou outra barreira física - podendo então ser destinado a compostagem, favorecendo assim economia circular dos resíduos. Os reservatórios podem ser dimensionados conforme as taxas de acumulação de lodo fornecidas por MacIntyre (1985), adota-se como referência limpezas anuais.

Existe um benefício terciário ao utilizar-se in loco do solo escavado para implantação das WCs nos reservatórios, sendo evitar o transporte deste material para fora do local.

Portanto, conforme as indicações da EPA e tabelas de orçamento, temos como custo operacional:

Figura 7 - Estimativa custos unitários de Operação e Manutenção

Descrição	Fonte:	Unidade	R\$/Unidade
LIMPEZA MANUAL DE VEGETAÇÃO EM TERRENO COM ENXADA	SINAPI	m ²	2,98
LIMPEZA DE DRENAGEM FORA DA PLATAFORMA	DER	m	2,01
LIMP.EXT.PAT.E AREAS VERDES - MEDIA FREQ	DER	m ² *mês	0,28

Fonte: elaboração dos autores

Pode-se considerar custos como R\$ 0,09/m³ de esgoto tratado no início de suas fases. Sugere-se adicionar o dobro destas quantias como custos de mão de obra técnica para monitoria do sistema e gastos de deslocamento para monitoria - resultando em R\$ 0,27 /m³ tratado.

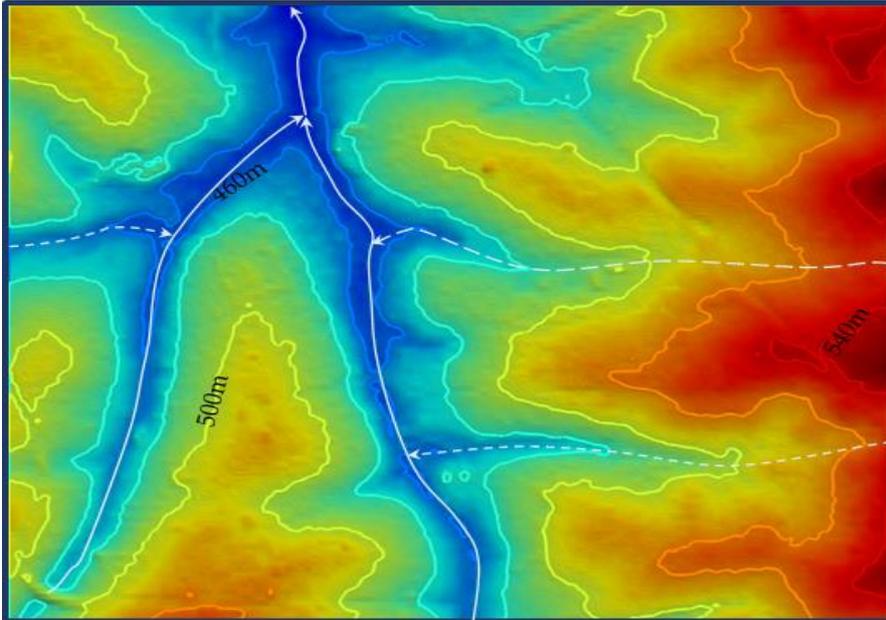
SIMULAÇÃO – SISTEMA PIRAJUÍ CENTRALIZADO

Topografia

Harding e Hasiuk (2022) nos fornecem um modelo de terreno digital aproximado com imagens cedidas pela agência de exploração espacial japonesa (JAXA) com precisão horizontal de 30 metros. A resolução não pode razoavelmente ser considerada para estimativas de terraplenagem, porém pode-se executar um pós-processamento dos dados com para identificar possíveis localizações para sistemas de *wetlands* construídas.

Considerando as informações da Figura 8, podemos separar as curvas de níveis desta e sobrepô-las ao mapa atual de Pirajuí. Redes de esgoto preferencialmente acompanham a topografia local utilizando declives para auxiliar no transporte gravitacional da matéria. Um sistema de *wetlands* construídas deve ser integrado a esta rede para tratá-la, obrigatoriamente após a coleta de toda a cidade. A Figura 9 demonstra uma posição favorável.

Figura 8 - Topografia Aproximada de Pirajuí:

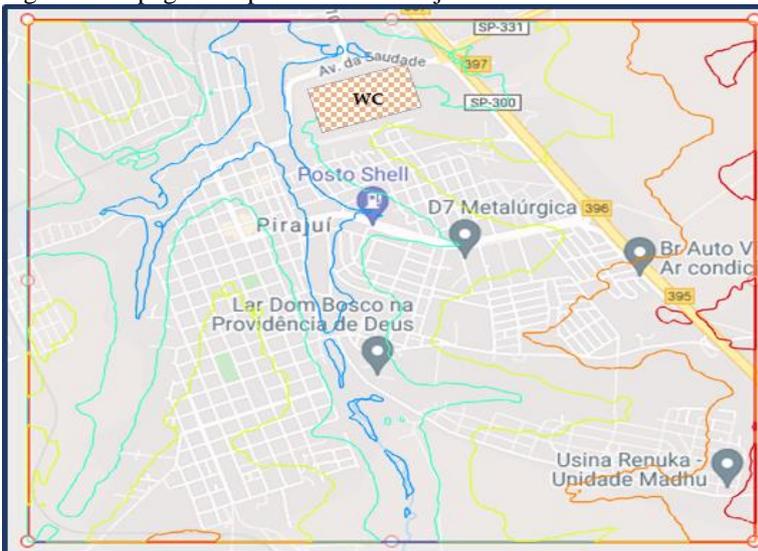


Corpos hídricos em linha branca contínua, linhas tracejadas correspondem a estimativa de escoamento preferencial de chuvas. Fonte: elaborado pelos autores.

Climatologia

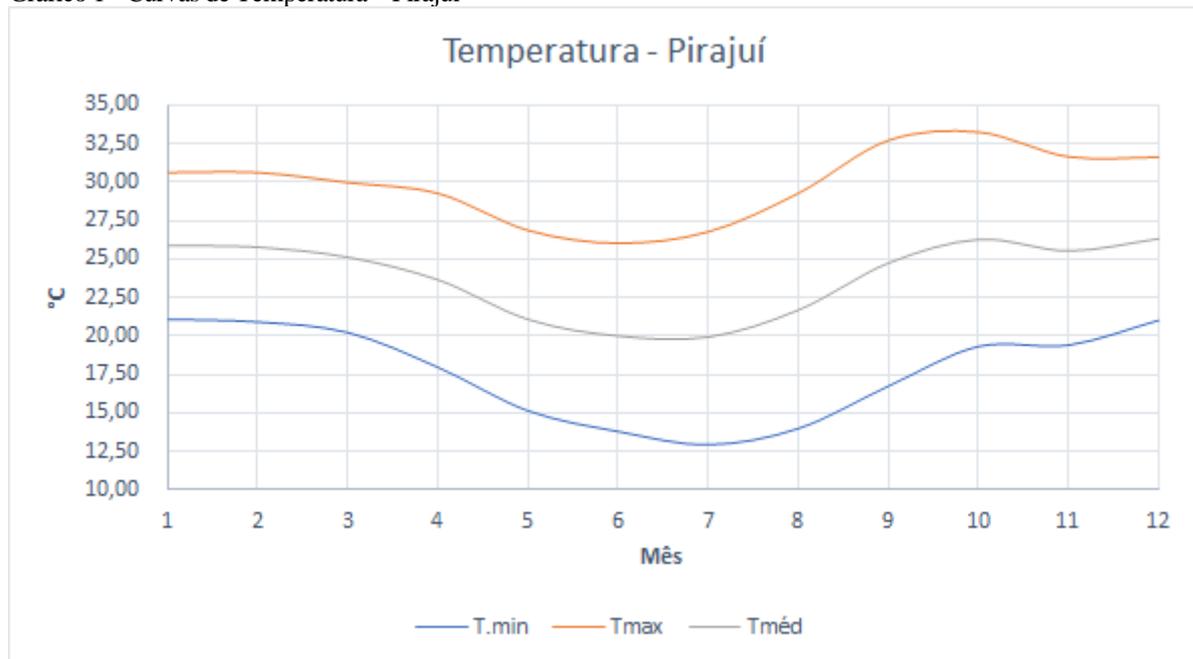
Extraí-se os dados referentes à temperatura de Pirajuí através de NASA (2022), contemplando um prazo de 10 anos, iniciado de Janeiro de 2011 a Janeiro de 2021. As médias mensais destes dados estão demonstradas no Gráfico 1.

Figura 9 - Topografia Aproximada de Pirajuí



Fonte do mapa: Harding e Haisuek (2022). Pós-processamento pelos autores.

Gráfico 1 - Curvas de Temperatura – Pirajuí



Fonte: elaboração dos autores.

Calcula-se, através da equação 1, que o local demonstrará uma constante de decaimento média anual de $1,23 d^{-1}$.

Dimensionamento

Planeja-se a implantação do sistema dividido em 2 etapas, uma inicial que será vigente por 10 anos e uma final, vigente pelos 10 anos seguintes e requerendo a expansão do sistema, considera-se o crescimento populacional constante a uma taxa de 3,5%. Utilizando da equação 3 e considerando, dos dados da CETESB, que a cidade de Pirajuí possui 20.958 habitantes que emitem uma concentração de DBO igual a 337,58 mg/l e, por Benassi et al. (2018), um sistema de WCFH reduziria em até 81% esta concentração, temos a figura 10, determinado conforme equação 3.

Com a área necessária pode-se efetuar uma verificação no sistema proposto, mantendo-se o parâmetro de concentração de poluidores C_e em incógnita e cruzar com as constantes de decaimento médias mensais. Obtém-se o Gráfico 2.

Observa-se resultados esperados, a flutuação térmica induz ineficiência ao sistema e revela duas informações importantes. O sistema demonstra uma contribuição máxima de 85,58 mg/l com eficiência de 74,6%, enquanto CONAMA (2011) estabelece uma concentração máxima de 120 mg/l, possivelmente maior caso haja uma eficiência mínima de 60%.

É possível, portanto, melhor atender o critério econômico de projeto reduzindo a quantidade de *wetlands* construídas – minorando a eficiência global do sistema. Atendendo aos critérios regulatórios, temos a situação conforme Figura 11.

Considerando o atendimento dos critérios vigentes, é possível reduzir a área do sistema centralizado de *wetlands* construídas em 26,4%. Opta-se para o dimensionamento destes reservatórios o formulado em McIntyre (1985), considerando-se, para a etapa final, um período de retenção de 12h, uma contribuição de 160 l/s, e uma taxa de acumulação de lodo equivalente a 65 considerando um período de manutenção de 1 ano. Adota-se um reservatório de dimensões de 10x303m com profundidade constante de 2,0m coberto por estrutura de concreto armado

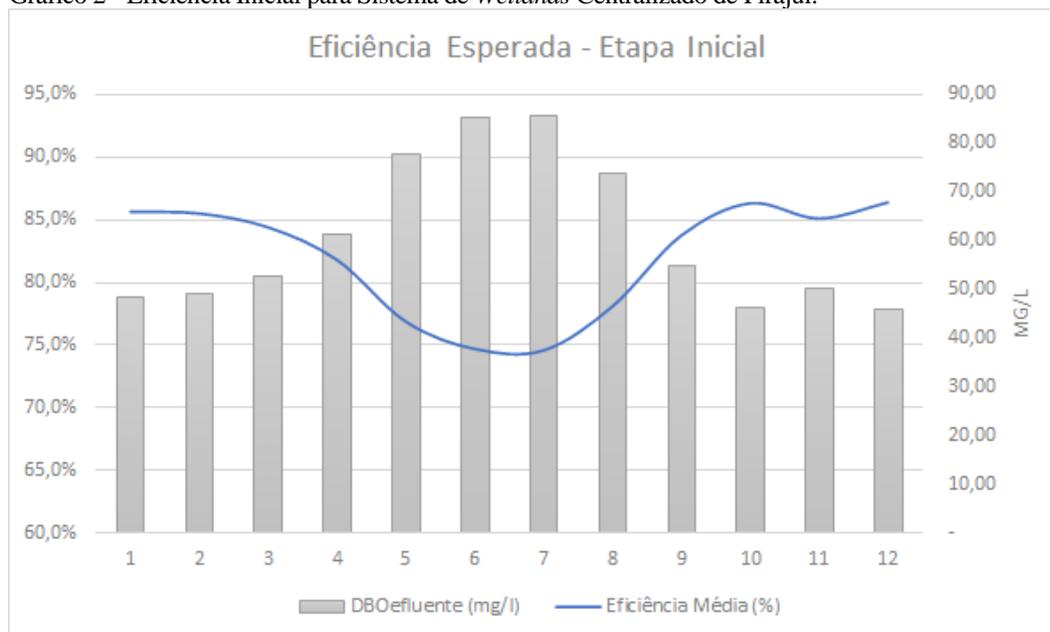
Utilizando do disposto em Figura 7 e replicando os custos de limpeza, terraplenagem e impermeabilização para o reservatório, estima-se o custo de implantação na figura 12:

Figura 10 - Condições necessárias de *Wetlands* Construídas para Saneamento em Pirajuí:

	Etapa Inicial	Etapa Final	
Pop, inicial	20.958		hab
Pop, projeção	29.563	41.702	hab
Qmed	4.257,07	6.005,09	m ³ /d
Kt, med	1,23		
Cafluen	330,00		mg/L
Cefluen	62,70		mg/L
Profundidade	0,60		m
Permeabilidade	38%		
As	25.298,85	35.686,93	m ²
Base	25,00		m
Comprimento	75,00		m
Awetland, unid.	1875,00		m ²
Número Wetlands	10	14	unid.
Aef	18.750,00	26.250,00	m ²
TDH	1,00	1,00	dias
Ef. Proj.	69,7%	69,5%	
Lim. Percolação	900,00		m ³ /d
Percolação efet.	425,71	428,93	m ³ /d
Fator de Segurança	47%	48%	OK

Fonte: elaboração dos autores.

Gráfico 2 - Eficiência Inicial para Sistema de *Wetlands* Centralizado de Pirajuí:



Fonte: elaboração dos autores.

Figura 11 - Condições revisadas de *Wetlands* Construídas para Saneamento em Pirajuí:

	Etapa Inicial	Etapa Final	
Pop, inicial	20.958		hab
Pop, projeção	29.563	41.702	hab
Qmed	4.257,07	6.005,09	m ³ /d
Kt, med	1,23		
Cafluen	330,00		mg/L
Cefluen	62,70		mg/L
Profundidade	0,60		m
Permeabilidade	38%		
As	25.298,85	35.686,93	m ²
Base	25,00		m
Comprimento	75,00		m
Awetland, unid.	1875,00		m ²
Número <i>Wetlands</i>	10	14	unid.
Aef	18.750,00	26.250,00	m ²
TDH	1,00	1,00	dias
Ef. Proj.	69,7%	69,5%	

Fonte: elaboração dos autores.

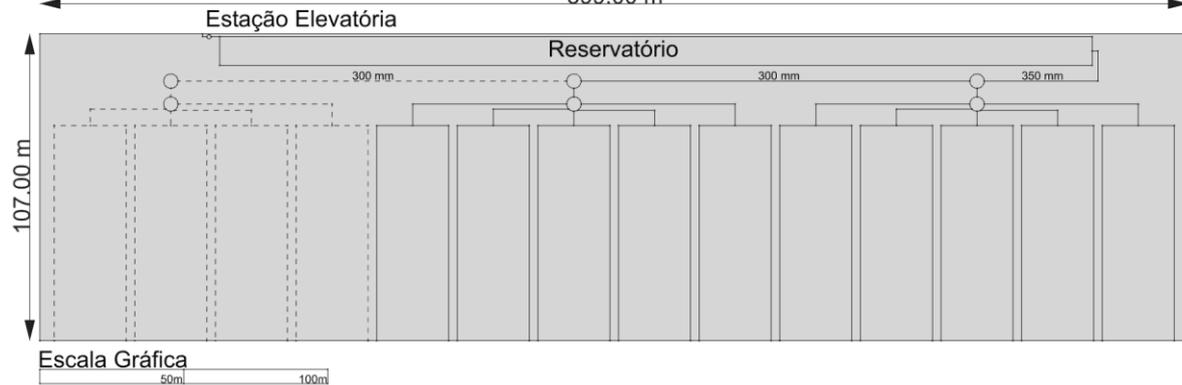
Figura 12 - Orçamento para Sistema de *Wetlands* Centralizado em Pirajuí:

	Tipo Serviço	Código SINAPI	Custo	Unidade	Custo Total - Início
WC	Limpeza Preliminar	98525	0,32	m ²	6.000,00
	Terraplenagem	101124	11,03	m ³	227.493,75
	Geomembrana	Preço Mercado	23,48	m ²	440.250,00
	Substrato	102717	79,43	m ³	893.587,50
	Trecho Hidraulico	92833	191,45	m	74.761,23
		97978	746,50	unidade	5.225,50
		101124	11,03	m ³	3.206,15
	Macrófitas	Preço Mercado	35,00	unidade	656.250,00
	Subtotal - WC				
Reservatório	Limpeza Preliminar	98525	0,32	m ²	1.939,20
	Terraplenagem	101124	11,03	m ³	153.736,14
	Geomembrana	Preço Mercado	23,48	m ²	100.917,04
	Estrutura Concreto	Preço Mercado			405.732,15
	Subtotal - Reservatório				
Terreno	Terreno	Preço Mercado	225,00	m ²	9.605.925,00
TOTAL					12.575.023,65

Fonte: SINAPI - 07/2021 e dados coletados de mercado. Elaboração pelos autores.

Opta-se pela disposição linear do sistema de *wetlands*, conforme Figura 13. Esta disposição apresenta uma performance aceitável a nível de área, porém em decorrência da distância entre a saída de reservatório e a entrada da última *wetland*, se faz necessário impor desníveis para compensação da perda de carga. Conforme Tsutiya e Sobrinho (2000), verifica-se que uma rede com tubulações de concreto com 200 mm, para distribuição às *wetlands*, e 300 e 350 mm de diâmetro atendem uma lâmina líquida máxima de 75% em situação de limite de percolação das *wetlands* por EPA (1993).

Figura 13 - Disposição esquemática para sistema de *Wetlands* Centralizado em Pirajuí:
399.00 m



Wetlands em cor cinza, tracejado para estruturas de etapa final. Fonte: elaboração dos autores.

DISCUSSÃO

Conforme disposto em Viabilidade Econômica em Sistemas de Saneamento, é possível estabelecer a taxa de retorno de capital investido para sistemas de *wetlands* construídas.

Considerando as informações em Saneamento Brasileiro - Panorama Tarifário, o ticket médio nacional de R\$ 1,50, em conjunto do custo médio de tratamento de R\$ 0,27 encontra-se o lucro operacional unitário de R\$ 1,23 por m³ tratado. Admitindo-se uma taxa de Imposto de Renda de Pessoa Jurídica (IRPJ) e Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL) total de 25%, é possível determinar um lucro líquido unitário de R\$ 0,92 por m³ tratado.

Foi observado entre 2012 a 2022 uma inflação anual média de 6,1%, fator que ajusta o lucro líquido anual médio. De igual maneira, adota-se o crescimento populacional de projeto para estimar o volume de esgoto coletado e tratado, demonstrado na figura 14.

Figura 14 - Lucro Líquido Anual Previsto para Sistemas de Saneamento em Pirajuí:

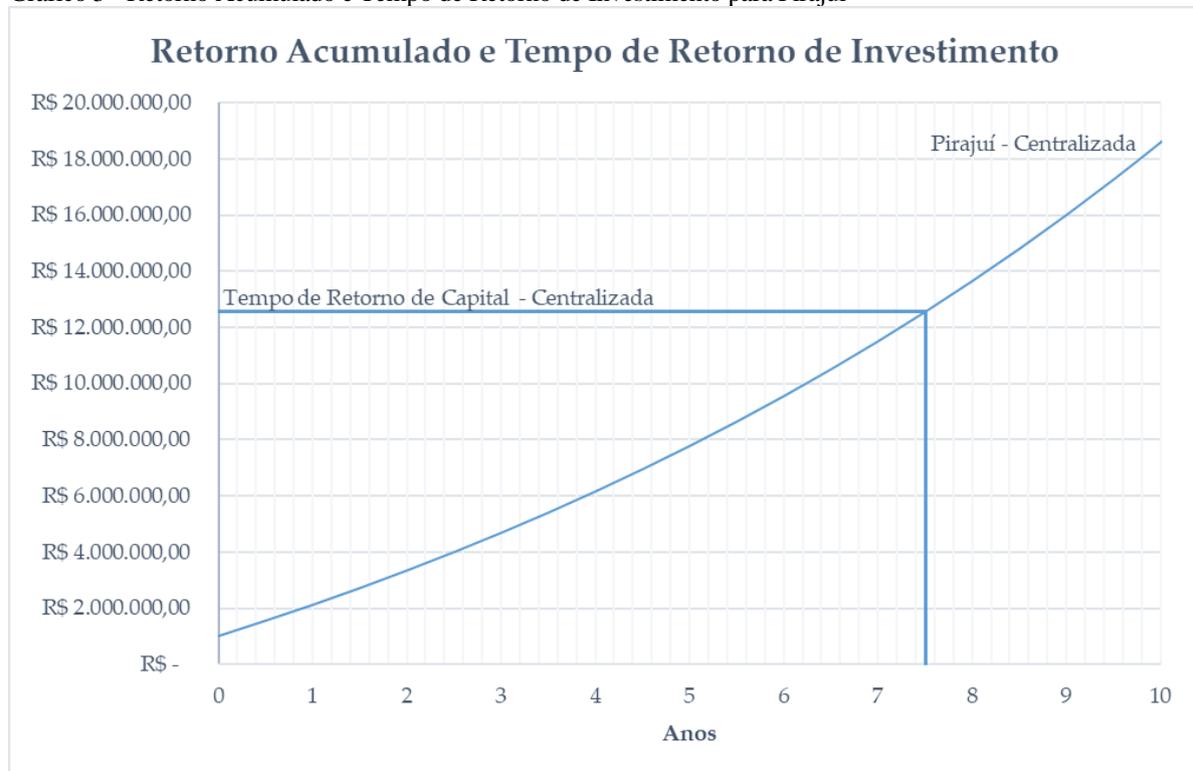
Ano	Pirajuí - Centralizada	
	População	Lucro Líquido
0	20.958	R\$ 1.013.428,28
1	21.692	R\$ 1.113.010,07
2	22.451	R\$ 1.222.338,53
3	23.237	R\$ 1.342.431,66
4	24.050	R\$ 1.474.292,05
5	24.892	R\$ 1.619.140,55
6	25.763	R\$ 1.778.187,30
7	26.665	R\$ 1.952.895,36
8	27.598	R\$ 2.144.723,50
9	28.564	R\$ 2.355.423,69
10	29.564	R\$ 2.586.839,73
11	30.599	R\$ 2.840.991,13
12	31.670	R\$ 3.120.089,28
13	32.778	R\$ 3.426.555,13
14	33.925	R\$ 3.763.149,25
15	35.112	R\$ 4.132.791,25
16	36.341	R\$ 4.538.800,46
17	37.613	R\$ 4.984.694,02
18	38.929	R\$ 5.474.318,90
19	40.292	R\$ 6.012.180,15
20	41.702	R\$ 6.602.772,88

Fonte: Elaboração pelos autores.

Traçando os dados da figura 13 em acumulados e cruzando com as informações nos orçamentos, pode-se estabelecer o tempo de retorno de capital investido.

O retorno médio esperado, nas condições anteriormente expressas, equivale a aproximadamente 13,3% ao ano (a.a.) para o sistema centralizado, ou seja, encontrando retorno total em 7 anos e meio, conforme gráfico 3.

Gráfico 3 - Retorno Acumulado e Tempo de Retorno de Investimento para Pirajuí



Fonte: elaborado pelos autores.

CONCLUSÕES

Conforme demonstrado em Viabilidade Econômica em Sistemas de Saneamento, o país demonstra um retorno histórico médio de 9,9% a.a. para ativos de renda variável, como reportado no IBOVSPA, e 12,37% a.a. para ativos de renda fixa.

Comparado aos valores dispostos em Agência Nacional de Águas (2015), conforme Figura 5 o retorno esperado de 7,9% a.a. – ou 12 anos e 8 meses de período de retorno de investimento – para municípios do porte de Pirajuí, os valores típicos de retorno financeiro no mercado brasileiro e o retorno encontrado no gráficos 3, pode-se avaliar os sistemas de *wetlands* construídas como opções economicamente viáveis para os parâmetros aqui definidos e, considerando o panorama financeiro nacional, um objeto de potencial interesse aos agentes privados de mercado.

Os fatos aqui demonstrados - na eficiência de tratamento dos sistemas de *wetlands*, seu dimensionamento e sua viabilidade econômica, quando relacionado às diretrizes elaboradas na Lei Nº 14.026 de 15 de Julho de 2020, o Novo Marco do Saneamento, propiciam uma nova alternativa à solução da situação sanitária do país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Resolução nº 601 de 25 de maio de 2015. **Resolução 601.**

ANDRADE, Sanduel Oliveira de *et al.* **USO DE WETLANDS CONSTRUÍDAS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES AGROINDUSTRIAIS NO SEMIÁRIDO NORDESTINO.** In: **CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS, 2020, [S.L.]. Ciência se faz com pesquisa!.** [S.L.]: Realize Eventos Científicos & Editora, 2020. v. 5, p. 1-8. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/73128>. Acesso em: 26 mar. 2021.

BATOOL, Ammara; SALEH, Tawfik A. Removal of toxic metals from wastewater in constructed wetlands as a green technology: catalyst role of substrates and chelators. **Ecotoxicology And Environmental Safety.** [S.I.], p. 1-10. nov. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Ammara-Batool/publication/337421006_Removal_of_toxic_metals_from_wastewater_in_constructed_wetlands_as_a_green_technology_catalyst_role_of_substrates_and_chelators/links/5dda7983299bf10c5a2e7af0/Removal-of-toxic-metals-from-wastewater-in-constructed-wetlands-as-a-green-technology-catalyst-role-of-substrates-and-chelators.pdf. Acesso em: 04 abr. 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos –2019.** Brasília: SNS/MDR, 2020. 183p.: il. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2019>. Acesso em: 10 abr. 2021

BENASSI, Roseli Frederigi *et al.* **MANUAL DE SISTEMAS DE WETLANDS CONSTRUÍDAS PARA O TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS:** implantação, operação e manutenção. N.I: N.I., 2018. 53 p.
COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Projeto Tietê.** 2021. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=701>. Acesso em: 13 nov. 2021.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº 430 DE 13/05/2011,** 2011.

ESTADO DE SÃO PAULO. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. . **QUALIDADE DAS ÁGUAS INTERIORES NO ESTADO DE SÃO PAULO.** São Paulo: N.I., 2020. 246 p.

FIGUEIREDO, Fábio Fonseca *et al.* O Saneamento Básico no Nordeste e no Rio Grande do Norte: avanços e constrangimentos. In: ENANPUR, 2017, Rio Grande do Norte. **DESENVOLVIMENTO, CRISE E RESISTÊNCIA: QUAIS OS CAMINHOS DO PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL?.** São Paulo: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017. p. 1-20. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/23431>. Acesso em: 09 abr. 2021.

FREIRE, André Luiz. **Saneamento básico: conceito jurídico e serviços públicos.** Enciclopédia jurídica da PUC-SP. Celso Fernandes Campilongo, Alvaro de Azevedo Gonzaga e André Luiz Freire (coords.). Tomo: Direitos Difusos e Coletivos. Nelson Nery Jr., Georges Abboud, André Luiz Freire (coord. de tomo). 1. ed. São Paulo: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2017. Disponível em: <https://enciclopediajuridica.pucsp.br/verbete/325/edicao-1/saneamento-basico:-conceito-juridico-e-servicos-publicos>. Acesso em: 10 abr. 2021.

HARDING, Chris; HASIUK, Franek. **TouchTerrain.** Disponível em: <https://touchterrain.geol.iastate.edu/>. Acesso em: 30 maio 2022.

HARON, Ahmed; FEISAL, Zeinab. CONSTRUCTED WETLAND PARKS: a pathway to sustainability for cairo. **Journal Of Urban Research.** Cairo, Egypt, p. 1-2. abr. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/333665800_CONSTRUCTED_WETLAND_PARKS_A_PATHWAY_TO_SUSTAINABILITY_FOR_CAIRO. Acesso em: 02 mar. 2021.

MARQUES, Érika Alves Tavares. **PISCICULTURA E SISTEMA DE WETLAND CONSTRUÍDA NO SEMIÁRIDO: CARACTERÍSTICAS E POTENCIALIDADES.** 2016. 206 f. Tese (Doutorado) - Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/28018>. Acesso em: 22 mar. 2021.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Instalações Hidráulicas:** prediais e industriais. 4. ed. N.I: Ltc, 1985. 596 p.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto**. Brasília: N.I., 2019. 190 p.

MONTALVÃO, Maurício Lopo et al. **Produtividade de Espécie Ornamental e Gramíneas em Wetlands no Semiárido Mineiro**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE WETLANDS CONSTRUÍDAS, 4., 2019, Belo Horizonte. Anais [...] . Belo Horizonte: UFMG, 2019. p. 145-153.

MOREIRA, Fernanda Deister; DIAS, Edgard Henrique Oliveira. **Constructed wetlands applied in rural sanitation: a review**. Environmental Research, [S.L.], v. 190, p. 110016, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2020.110016>.

National Aeronautics and Space Administration. **NASA POWER: prediction of worldwide energy resources**. Prediction of Worldwide Energy Resources. Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov/>. Acesso em: 14 nov. 2021

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Declaração Universal dos Direitos Humanos**, 1948. Disponível em: <https://www.unicef.org/brazil/declaracao-universal-dos-direitos-humanos>. Acesso em: 14 abr. 2021.

PINHEIRO SOBRINHO, Paulino Cavalcante. **PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UMA WETLAND COMO TRATAMENTO TERCIÁRIO DE EFLUENTE ANAERÓBIO DE COMUNIDADE UNIVERSITÁRIA DO SEMI-ÁRIDO**. 2019. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/3010>. Acesso em: 04 abr. 2021.

POÇAS, Cristiane Dias. **UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DE WETLANDS PARA TRATAMENTO TERCIÁRIO: controle de nutrientes**. 2015. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6139/tde-23112015-122556/publico/CristianeDiasPocas.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2022.

RESENDE, Juliana Dalia *et al.* Life Cycle Assessment and costing wastewater treatment systems coupled to constructed wetlands. **Resources, Conservation & Recycling**. São Paulo, p. 170-177. maio 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Marcelo-Nolasco/publication/333158119_Life_cycle_assessment_and_costing_of_wastewater_treatment_systems_coupled_to_constructed_wetlands/links/5cf72c2ca6fdcc8475063daf/Life-cycle-assessment-and-costing-of-wastewater-treatment-systems-coupled-to-constructed-wetlands.pdf. Acesso em: 04 abr. 2021.

SERIGHELI, Franciele; CIRELLI, Giuseppe Luigi; VENTURA, Delia; SUNTTI, Carla. **Avaliação dos Efeitos da Evapotranspiração, salinidade e propriedades hidráulicas em um sistema de wetlands construídos para o tratamento de águas residuais**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE WETLANDS CONSTRUÍDAS, 4., 2019, Belo Horizonte. Anais [...] . Belo Horizonte: UFMG, 2019. p. 283-293.

SILVA JÚNIOR, Édio Damásio da. **INFLUÊNCIA CLIMÁTICA EM MODELOS CINÉTICO-HIDRODINÂMICOS PARA DIMENSIONAMENTO DE WETLANDS CONSTRUÍDAS NO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO**. 2018. 214 f. Tese (Doutorado) - Curso de Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/34753>. Acesso em: 28 mar. 2021.

STEFANAKIS, Alexandros. **Constructed Wetlands for Sustainable Wastewater Treatment in Hot and Arid Climates: opportunities, challenges and case studies in the middle east**. Water, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 1665, 10 jun. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w12061665>. Acesso em: 05 abr. 2021.

STEFANAKIS, Alexandros. **The Role of Constructed Wetlands as Green Infrastructure for Sustainable Urban Water Management**. Sustainability 2019. [S.I.], p. 1-19. dez. 19. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/24/6981/htm>. Acesso em: 05 abr. 2021.

USA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. . **Subsurface Flow Constructed Wetlands For Wastewater Treatment: a technology assessment**. N.I: N.I., 1993. 87 p.

TILLEY, Elizabeth *et al.* **Compendium of Sanitation Systems and Technologies**. 2. ed. Suíça: Swiss Federal Institute Of Aquatic Science And Technology (Eawag), 2014. 180 p. Disponível em: <https://sswm.info/node/5587f>. Acesso em: 09 nov. 2021.

TRAVAINI-LIMA, Fernanda; SIPAĐBA-TAVARES, Lúcia Helena. Efficiency of a constructed wetland for wastewaters treatment. **Acta Limnologica Brasiliensia**, [S.L.], v. 24, n. 3, p. 255-265, 27 nov. 2012. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s2179-975x2012005000043>. Acesso em: 03 fev. 2022.

VARMA, Mahesh *et al.* A review on performance of constructed wetlands in tropical and cold climate: insights of mechanism, role of influencing factors, and system modification in low temperature. **Science Of The Total Environment**. [S.I.], p. 1-17. set. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/344519095_A_review_on_performance_of_constructed_wetlands_in_tropical_and_cold_climate_Insights_of_mechanism_role_of_influencing_factors_and_system_modification_in_low_t emperature. Acesso em: 05 abr. 2021.