



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Mateus Lins dos Santos

SOLUÇÃO DE *WETLAND* PARA O SANEAMENTO BÁSICO: uma proposta para
pequenas cidades do interior tocantinense

Palmas – TO

2019

Mateus Lins dos Santos

SOLUÇÃO DE *WETLAND* PARA O SANEAMENTO BÁSICO: uma proposta para
pequenas cidades do interior tocantinense

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof.^a Dra. Ângela Ruriko Sakamoto.

Palmas – TO

2019

Mateus Lins dos Santos

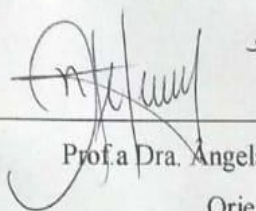
SOLUÇÃO DE WETLAND PARA O SANEAMENTO BÁSICO: uma proposta para
pequenas cidades do interior tocantinense

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof.^a Dra. Ângela Ruriko Sakamoto.

Aprovado em: 29 / 05 / 2019

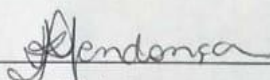
BANCA EXAMINADORA



Prof.ª Dra. Ângela Ruriko Sakamoto

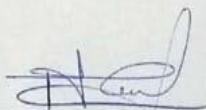
Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof.ª Esp. Kênia Parente Lopes Medonça

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof.ª Esp. Tailla Alves Cabral Brito

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2019



AGRADECIMENTOS

Dedico este presente trabalho à memória do meu pai, Reginaldo dos Santos, falecido, respectivamente, em 25/01/2005.

Agradeço à Deus, pela vida, saúde e disposição.

À minha querida mãe, exemplo de vida, que com muita fé e dedicação, esforço, honestidade e simplicidade, tem me guiado até o presente momento.

À minha esposa e companheira, Karine, o especial agradecimento no incentivo e superação dos obstáculos.

Ao meu filho, Davi Lucca, pela compreensão com minhas ausências.

Ao meu irmão, Pedro, pelo companheirismo, força e por estar junto em todos os momentos.

Ao meu tio, José Roberto, incitador de vida e profissional.

Aos meus familiares o meu profundo agradecimento pelos estímulos em meus estudos e na vida.

À Professora Ângela Ruriko Sakamoto, pela paciência, por todo conhecimento transmitido e úteis conselhos.

Aos amigos e colegas de curso pelo incentivo transmitidos durante todo o processo de execução desse trabalho.

RESUMO

Santos, Mateus Lins. **SOLUÇÃO DE WETLAND PARA O SANEAMENTO BÁSICO: uma proposta para pequenas cidades do interior tocantinense.** 2019. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2019.

Este presente trabalho teve por finalidade a elaboração de um anteprojeto utilizando a técnica da *Wetland* para o tratamento de esgoto e gerar indicadores para a cidade de Rio dos Bois - TO, que possui cerca de 2.811 habitantes. Com base em estudos e revisão bibliográfica foi possível compreender e assimilar como ocorre o processo da técnica *Wetland* no tratamento de efluentes e os impactos positivos que essa temática pode proporcionar para os municípios e principalmente para população. Tendo em vista que o município estudado não possui coleta e tratamento de esgoto, definiu-se o sistema que irá operar com o propósito de sugerir e contribuir para o cenário atual de crise hídrica no Brasil. A tecnologia *Wetland* enquadra-se em diversas situações, onde associa a alta eficiência com a simplicidade na operação e construção, possui potencial comercial que transforma os efluentes em recurso financeiro e matéria prima, gerando receita para o operador do sistema por meio do composto orgânico, biomassa vegetal e produção de água de reúso. Esta pesquisa fez parte das ações do Núcleo de Empreendedorismo e Inovação (NEI) da instituição, da qual o acadêmico é integrante. Como resultado do estudo, é proposto de forma pragmática o fornecimento de dados relevantes para elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), com diretrizes técnicas, subsidiando assim as prefeituras para planejar a alocação de recursos e tornar possível a sua captação junto ao governo federal, via o Sistema de Convênios (SICONV).

Palavras-chave: *Wetland*; Plano Municipal de Saneamento Básico; Sincov; Rio dos Bois-TO.

ABSTRACT

Santos, Mateus Lins. **WETLAND'S SOLUTION FOR BASIC SANITATION: a proposal for small towns in the interior of Tocantins**. 2019. 65 f. Course Completion Work (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas / TO, 2019.

This work aimed to prepare a preliminary project using the *Wetland* technique for the treatment of sewage and to generate indicators for the city of Rio dos Bois - TO, which has about 2,811 inhabitants. Based on studies and bibliographic review it was possible to understand and assimilate how the process of the *Wetland* technique in the treatment of effluents occurs and the positive impacts that this theme can provide for municipalities and mainly for the population. Considering that the studied municipality does not have sewage collection and treatment, it was defined the system that will operate with the purpose of suggesting and contributing to the current scenario of water crisis in Brazil. *Wetland* technology fits into several situations, where it combines high efficiency with simplicity in operation and construction, has commercial potential that transforms effluents into a financial resource and raw material, generating revenue for the system operator through the organic compound, plant biomass and reuse water production. This research was part of the actions of the Center for Entrepreneurship and Innovation (NEI) of the institution, of which the academic is a member. As a result of the study, it is proposed in a pragmatic way the provision of data relevant to the elaboration of the Municipal Basic Sanitation Plan (PMSB), with technical guidelines, thus subsidizing the municipalities to plan the allocation of resources and make possible their capture with the government through the System of Covenants (SICONV).

Keywords: *Wetland*; Municipal Plan of Basic Sanitation; Sincov; Rio dos Bois-TO.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Impactos diretos e indiretos no saneamento.....	20
Figura 2- Ontologia da Universalização do Saneamento.....	22
Figura 3- Efeitos diretos na saúde e meio ambiente provenientes da implementação dos sistemas de água e esgoto.....	25
Figura 4- Etapas para elaboração e implementação do PMSB.....	28
Figura 5- Panorama dos PMSB.	29
Figura 6- Indicadores adotados no Prodes.	30
Figura 7- Fluxograma do sistema fossa-filtro.	32
Figura 8- Representação esquemática do sistema de fluxo superficial.....	34
Figura 9- Representação esquemática do sistema de fluxo subsuperficial.	35
Figura 10- Representação esquemática do sistema de fluxo vertical.	35
Figura 11- Síntese dos elementos e mecanismo de extração.....	36
Figura 12- Fluxo da pesquisa.	40
Figura 13- Esquema representativo do perfil longitudinal do WCH.	44
Figura 14-Valores da cota per capita	45
Figura 15- Análise econômico financeira - Sistema Mecanizado vs <i>Wetland</i>	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Quantitativo de mudas utilizadas nas unidades calculadas.....	55
Tabela 2- Dados de dimensionamento do sistema <i>Wetland</i>	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Protocolo da pesquisa.....	42
--------------------------------------	----

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1- Vazão do efluente	44
Equação 2- Carga de DBO	45
Equação 3- Área superficial requerida.....	46
Equação 4- Taxa de aplicação hidráulica.....	46
Equação 5- Área de cada unidade.....	46
Equação 6- Dimensionamento da largura e comprimento da unidade	47
Equação 7- Cálculo do Volume Útil do Líquido	48
Equação 8- Tempo de detenção hidráulica	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	<i>Agencia Nacional de Água</i>
BSC	<i>Balanced Scorecard</i>
CONAMA	<i>Conselho Nacional do Meio Ambiente</i>
DBO	<i>Demanda Bioquímica de Oxigênio</i>
ETE	<i>Estação de Tratamento de Esgoto</i>
FS	<i>Fluxo Superficial</i>
FSS	<i>Fluxo Subsuperficial</i>
IBGE	<i>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</i>
OMS	<i>Organização Mundial de Saúde</i>
P&D	<i>Pesquisa e Desenvolvimento</i>
PPP	<i>Parcerias Público-Privadas</i>
PRODES	<i>Programa de Despoluição de Bacias Hidrograficas</i>
PLANSAB	<i>Plano Nacional de Saneamento Básico</i>
PMSB	<i>Plano Municipal de Saneamento Básico</i>
SBSC	<i>Sustainability Balanced Score Card</i>
SB	<i>Saneamento Básico</i>
SINCOV	<i>Sistema de Convênios</i>
SNIS	<i>Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Problema da Pesquisa	15
1.2	Hipóteses.....	15
1.3	Objetivos.....	15
1.3.1	Objetivo Geral	15
1.3.2	Objetivos Específicos.....	16
1.4	Justificativa.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	O Cenário do Saneamento Básico.....	17
2.1.1	Importância Social e Sanitária.....	18
2.1.2	Inovação de conceitos	21
2.1.3	Plano Municipal de Saneamento Básico	27
2.2	Tecnologias de Sistema Simplificado	30
2.2.1	Metas para avaliação de Estações de Tratamento de Esgotos.....	30
2.2.2	Critérios e Parâmetros do Projeto	32
2.3	Wetlands	34
2.3.1	Fluxo Superficial	34
2.3.2	Fluxo Subsuperficial	34
2.3.3	Fluxo Vertical	35
2.3.4	Mecanismos de Remoção.....	36
2.4	Fatores Influentes no Desempenho de <i>Wetlands</i> Construídas	36
3	METODOLOGIA	39
3.1	Desenho do Estudo	39
3.2	Objeto de Estudo	39
3.3	Instrumento de Coleta de Dados e Análise	39
4	ANTEPROJETO PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA	43
4.1	Estrutura do Sistema.....	43
4.2	Características de Dimensionamento WCH.....	44
4.2.1	Estimativa da Vazão	44
4.2.2	Dados de Entrada Relativos á Vazão e a Carga de DBO Afluentes	45
4.2.3	Área Superficial Requerida	45
4.2.4	Verificação da Taxa de Aplicação Hidráulica.....	46
4.2.5	Número de Unidades em Paralelo	46
4.2.6	Largura e Comprimento de cada Unidade	47
4.2.7	Volume Útil do Líquido	47
4.2.8	Tempo de Detenção Hidráulica	48
4.2.9	Manejo das Plantas	48
4.2.10	Altura do Meio Suporte.....	49
4.2.11	Profundidade da Lâmina de Esgoto	49
4.2.12	Declive Longitudinal e Inclinação dos Taludes	49
4.3	Características dos Elementos Componentes	49
4.3.1	Granulometria do Leito	49
4.3.2	Entrada e Retirada do Efluente.....	49
4.3.3	Impermeabilização do Fundo e Paredes.....	50
4.3.4	Manejo e Utilização das Plantas	50
4.3.5	Recomendações quanto a Operação	50
5	RESULTADOS	51
5.1	Dimensionamento do Sistema <i>Wetland</i>.....	51
5.1.1	Definição da Vazão.....	51

5.1.2	Carga de DBO Afluentes	52
5.1.3	Área Superficial Requerida	52
5.1.4	Taxa de Aplicação Hidráulica	53
5.1.5	Dimensionamento do Número de Unidades em Paralelo	53
5.1.6	Determinação da Largura e Comprimento de cada Unidade	53
5.1.7	Determinação da Profundidade Útil e Altura do Material Filtrante	54
5.1.8	Cálculo do Volume Útil do Líquido	54
5.1.9	Cálculo do Tempo de Detenção Hidráulica	54
5.1.10	Cálculo da Quantidade de Mudanças	55
5.1.11	Tabela Resumo do Dimensionamento do Sistema	55
5.2	Diretrizes para Implantação do Sistema Junto ao SINCOV	56
5.2.1	Indicadores para o PMSB.....	58
6	CONCLUSÃO.....	59
7	REFERÊNCIAS.....	61
APÊNDICES		64
A- Planta Baixa		64
B. Planta - Corte Esquemático.....		65

1 INTRODUÇÃO

Estima-se que o país possua cerca de 12% da disponibilidade de água doce do planeta. Mas a distribuição natural desse recurso não é equilibrada. As regiões Sudeste e Nordeste sofrem com a estiagem, principalmente pelo fato da desigualdade da distribuição das reservas de água pelo Brasil. As maiores concentrações populacionais do país encontram-se nas capitais e nos centros urbanos de maior porte, distantes dos grandes rios brasileiros, como o Amazonas, o São Francisco e o Paraná. A região Norte, por exemplo, concentra aproximadamente 80% da quantidade de água disponível, mas representa apenas 5% da população brasileira. Já as regiões próximas ao Oceano Atlântico possuem mais de 45% da população, porém, menos de 3% dos recursos hídricos do país.

No Brasil, o saneamento básico é um direito assegurado pela Constituição e definido pela Lei nº. 11.445/2007 como o conjunto dos serviços, infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, drenagem urbana, manejos de resíduos sólidos e de águas pluviais. Um dos princípios da Lei nº. 11.445/2007 é a universalização dos serviços de saneamento básico, para que todos tenham acesso ao abastecimento de água de qualidade e em quantidade suficientes às suas necessidades, à coleta e tratamento adequado do esgoto e do lixo, e ao manejo correto das águas das chuvas.

A Lei nº. 11.445/2007 estabelece a elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) como instrumento de planejamento para a prestação dos serviços públicos de saneamento básico, e ainda determina os princípios dessa prestação de serviços; as obrigações do titular, as condições para delegação dos serviços, as regras para as relações entre o titular e os prestadores de serviços, e as condições para a retomada dos serviços. Ainda trata da prestação regionalizada; institui a obrigatoriedade de planejar e regular os serviços; abrange os aspectos econômicos, sociais e técnicos da prestação dos serviços, assim como institui a participação e o controle social.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o estado do Tocantins possui 139 municípios, com estimativa de população residente de 1.550.194 pessoas com data de referência em 1º de julho de 2017. Possui grande número de córregos, mananciais, cachoeiras, lagos, nascentes e etc. Destaca-se a qualidade dos mananciais e biodiversidade encontrada na região. Com grande potencial hídrico, faz-se necessária a

adoção de políticas que integrem o planejamento setorial à gestão dos recursos hídricos, tornando indispensável à incorporação de informações econômicas, sociais e hidrológicas para a gestão sustentável dos recursos naturais.

As péssimas condições sanitárias verificadas em pequenas cidades, desordenadamente ocupadas, resultam na degradação generalizada dos elementos naturais. O crescimento populacional de maneira concentrada transformou a estrutura das cidades brasileiras, acumulando conflitos relacionados ao uso e ocupação do solo, num contexto que agrava de forma negativa a população mais vulnerável.

Esses fatores evidenciam uma sociedade cada vez mais desigual, especialmente no acesso a infraestrutura de serviços básicos. A segregação pode ser entendida como processo forçado de determinada população aglomerar-se em dada área, ocorrendo tanto por mecanismos do mercado de valorização ou desvalorização imobiliária, como por práticas efetivas de discriminação (TORRES, 2004; GUIMARÃES, 2015).

O sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário pode ser planejado e projetado para atender a pequenos povoados ou a grandes cidades, variando nas características e no porte de suas instalações. O tratamento dos efluentes necessita adequar-se aos padrões de qualidade, visando compatibilidade ao minimizar os impactos antes de ser devolvido a natureza. Nesse contexto, os índices de desempenho vêm despertando interesse da indústria, sendo essencial para o gerenciamento do desempenho, proporcionando desenvolvimento de estratégias, planejamento de metas e desafios.

Com a necessidade de monitoramento dos recursos, os indicadores de desempenho permitem analisar e definir deficiências, otimizando e aperfeiçoando os objetivos da construção do empreendimento. Visando o crescimento contínuo, os indicadores de desempenho são dados estatísticos tratados que almejam controlar e monitorar as principais vertentes, potencializando as atividades realizadas. Segundo Kaplan e Norton (2008), “A avaliação de desempenho é um processo inerente à natureza humana, que envolve a interação entre os diversos membros de uma organização, no qual estão predispostos a analisar o contexto de acordo com as suas percepções acerca dos objetivos a serem mensurados”.

Neste cenário, o objeto de estudo é o município de Rio dos Bois – TO, que possui aproximadamente 2.811 habitantes e está localizada a 123 km da capital do Tocantins.

Este estudo contribui com a execução do PMSB de Rio dos Bois ao focar nos

processos técnicos associados à engenharia para o tratamento de efluentes e saneamento básico.

1.1 Problema da Pesquisa

Tendo em vista a necessidade de fornecer soluções de baixo custo e complexidade para em cidades com menos de 15.000 habitantes, questiona-se: A técnica de *WETLAND*, atende aos requisitos mínimos de desempenho para os projetos de tratamento de esgoto em cidades de pequeno porte?

1.2 Hipóteses

A legislação demanda ações públicas que os órgãos responsáveis pela implementação carecem de conhecimento técnico sobre o assunto. Assim tem dificuldade de elaborar um anteprojeto de esgoto integrado com a gestão publicado, demandados por lei.

Por sua vez, pequenos municípios de menos de 15.000 habitantes podem não dispor de responsáveis técnicos para efetivação de qualidade no sistema de saneamento básico.

Além da possibilidade do município não ter Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), fato que coíbe tanto as ações técnicas e políticas para a implementação de um tratamento de águas e esgoto para região.

1.3 Objetivos

Para investigar o problema e testar as hipóteses do escopo deste estudo, tomou-se como objeto de estudo a cidade de Rio dos Bois, TO. A cidade foi escolhida não só pelas suas características e facilidades de acesso às informações, mas também por ter a equipe do Núcleo de Empreendedorismo e Inovação (NEI) do CEULP/ULBRA envolvidos no estudo, possibilitando complementaridade e colaboração entre os integrantes.

1.3.1 Objetivo Geral

Elaborar um anteprojeto utilizando a técnica da *Wetland* para o tratamento de esgoto e

gerar indicadores para a cidade de Rio dos Bois, que possui cerca de 2811 habitantes.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Propor indicadores para o projeto de esgoto proposto para a cidade pelo integrante do NEI (Oliveira, 2018).
- Apresentar conceitos relevantes quanto a capacidade dos sistemas *Wetlands*.
- Avaliar os possíveis pontos de melhoria e recomendações, inclusive aplicando a Lei 11.445/2007 e propondo diretrizes para o PMSB.

1.4 Justificativa

Saneamento é o conjunto de medidas que visa preservar ou modificar as condições do meio ambiente com a finalidade de prevenir doenças e promover a saúde, melhorando a qualidade de vida da população e a produtividade do indivíduo. A prática de gerenciar projetos diante de um mercado passivo vem modificando as empresas que atuam na construção civil, visando reduzir gastos desnecessários, controlar as etapas e potencializar as atividades exercidas.

A ausência de gestão no saneamento, oriundos da deficiência do processo de planejamento e controle está relacionada com a baixa produtividade e gastos excessivos, com isso, a identificação de pontos fortes e fracos das atividades exercidas na construção civil necessita ser mapeado com a finalidade de detectar parâmetros que influenciam na queda de desempenho.

A integração de planejamento e controle surge como uma alternativa, que possibilita agilidade na tomada de decisão, determinando variações de custo e parâmetros que podem incentivar a queda de desempenho.

O sistema *Wetland* possui capacidade e eficiência no tratamento de efluentes, sendo uma alternativa de baixa tecnologia e custos tanto capex quanto opex em comparação aos sistemas mais avançados.

O resultado deste trabalho poderá ser utilizado para colaborar para melhorias saneamento básico em cidades com menos de 15.000 habitantes. Utilizando alternativas capazes de potencializar os sistemas existentes ou não, empregando conceitos eficientes que possam reduzir gastos desnecessários e otimizar processos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este tópico embasa o escopo e relevância do tema, onde as pesquisas e conceitos recentes suportam o entendimento da metodologia deste trabalho. Apresentando concepções de projetos de saneamento básico, propostas sustentáveis, que afetam a parte social, ambiental e saúde pública.

2.1 O Cenário do Saneamento Básico

É realidade comum o lançamento de esgotos sanitários não tratados, a disposição inadequada de resíduos sólidos nas mediações de cursos d'água ou em locais sem infraestrutura adequada, loteamentos clandestinos e outras. Segundo Almeida et al. (2010), os resíduos finais do esgoto sanitário são geralmente encaminhados ao corpo d'água, muitas vezes em forma bruta. Resultante desse lançamento os indícios de contaminação começam a aparecer, ameaçando a saúde pública, os peixes, odores e etc. Tais efeitos podem ser evitados submetendo o esgoto a tratamento adequado, com certificações de qualidade. O sistema de esgotamento sanitário em uma comunidade visa os seguintes objetivos:

- Disposição seguro dos esgotos;
- Coleta dos esgotos na comunidade;
- Tratamento e disposição adequada, buscando a conservação dos recursos naturais; melhoria das condições sanitárias locais;
- Eliminação de focos de contaminação e poluição;
- Eliminação de problemas estéticos desagradáveis;
- Redução dos recursos aplicados no tratamento de doenças;
- Diminuição dos custos no tratamento de água para abastecimento

A necessidade de investimento e universalização do saneamento básico exigiu uma maior demanda dos recursos naturais disponíveis, intensificando a exploração nos rios, lagos e poços. Dados estatísticos do Ministério da Saúde revelam que, para cada real investido em saneamento básico no Brasil, são economizados quatro reais na saúde pública, ou seja, as

ruas, bairros, povoados ou cidades que não dispõem de saneamento básico têm uma demanda na área de saúde curativa bem superior às populações assistidas com saneamento básico (NUVOLARI, 2003, apud ALMEIDA, 2007, p. 16). Esta relação traduzida financeiramente expressa que, à medida que os investimentos em implantação de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário vão ocorrendo os atendimentos nos postos de saúde vão reduzindo, principalmente no que diz respeito às doenças de veiculação hídrica (Almeida, 2007, p. 16).

A água potável deve atender aos padrões de potabilidade para o consumo humano. Se ela contém impurezas que desrespeitam as normas, ela é considerada imprópria para o consumo humano. A melhor solução para o abastecimento de água é a coletiva, exceto no caso das comunidades e populações vulneráveis que se encontram muito afastadas. As partes do Sistema Público de Água são: captação; adução (transporte); tratamento; reservação (armazenamento) e distribuição (LEAL, 2008).

Porém, para comunidades e até cidades de baixa população, a utilização de poços para abastecimentos permite o atendimento de comunidades pobres ou distantes das redes de abastecimento público, desempenhando um importante papel no desenvolvimento socioeconômico do país. Segundo Cardoso, Bueno et al. (2008, p.2), a água de poços e fontes vem sendo utilizada intensamente para diversos fins, tais como abastecimento humano, irrigação, indústria e lazer. Segundo IBGE (2002), 15,6% dos domicílios brasileiros utilizam exclusivamente água subterrânea. Embora o uso do manancial subterrâneo seja complementar ao superficial em muitas regiões, em outras áreas do Brasil a água subterrânea representa o principal manancial hídrico.

2.1.1 Importância Social e Sanitária

O consumo em excesso e o crescimento da população, tem como consequência o aumento de resíduos e descarte inadequado no meio ambiente, levando uma preocupação com os recursos naturais. O sistema de saneamento abrange e impacta diretamente em melhorias na vida da comunidade, resultando numa rápida melhora na saúde e condições de, principalmente através do controle e prevenção de doenças, da promoção de hábitos higiênicos, da melhoria da limpeza pública.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), saneamento traz benefícios e

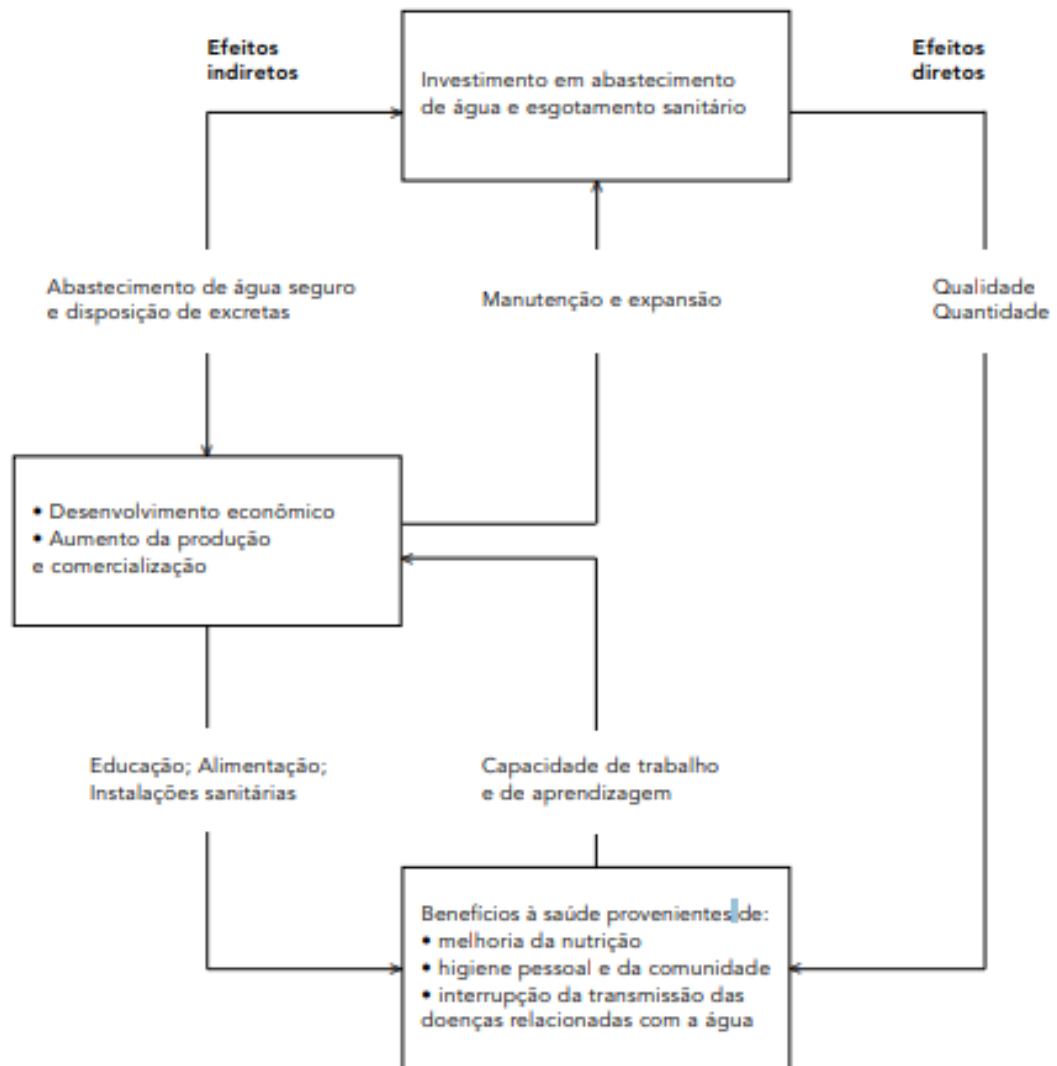
controle de fatores, que impactam diretamente no bem-estar social, mental e físico.

De outra forma, pode-se dizer que saneamento caracteriza o conjunto de ações socioeconômicas que tem por objetivo alcançar salubridade ambiental. A importância da implantação do sistema de abastecimento de água visa atingir aos seguintes objetivos sanitários e sociais:

- Melhoria das condições de vida de uma comunidade e saúde;
- Diminuição da mortalidade;
- Aumento da expectativa de vida;
- Diminuição de doenças relacionadas à água;
- Implantação de hábitos de higiene na população;
- Melhoria da limpeza pública;
- Melhoria dos sistemas de esgotos sanitários;
- Desenvolvimento econômico.

Segundo o estudo de Cvjetanovic (1986, apud Soares, Bernardes et al., 2002), um conceito de visão sobre a questão de saúde que agrega fatores econômicos e sociais. Esquemáticamente, a figura 1 ilustra os benefícios diretos e indiretos que atinge a população.

Figura 1- Impactos diretos e indiretos no saneamento.



Fonte: Cvjetanovic (1986)

Os resultados dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário sobre a saúde de populações pobres e meio ambiente, chamados externalidades, é objeto de estudo por diversos autores. Considerar nas políticas e procedimentos as desigualdades, risco a saúde e meio ambiente, pois problemas convertem-se em grandes regiões metropolitanas por conta da expansão urbana, e os indicadores e índices ambientais podem evidenciar tendências distintas (SOBRAL&FREITAS, 2010; ANTHONY & MCHAEL, 2000; ALIER, 2009).

Os indicadores, quanto à externalidades do setor sobre a saúde, devem prestar-se aos objetivos e finalidades de detectar situações de risco relacionadas a problemas ambientais e de

saúde, monitorar tendências no ambiente e de riscos à saúde, comparar condições ambientais e de saúde em diferentes áreas, permitindo a identificação de áreas prioritárias, avaliar o impacto de políticas e intervenções sobre as condições de saúde e ambiente contemplando a avaliação ambiental (ANDREAZZI et. al. 2007; SOARES et. al. 2002).

2.1.2 Inovação de conceitos

Segundo Montana e Charnov (1998), como ferramenta do planejamento estratégico, o Balanced Scorecard (BSC), cujo conceito e ferramenta foram construídos por Kaplan & Norton (1993, 1996a, 1996b), como o que traduz a missão e a estratégia das empresas num conjunto abrangente de medidas de desempenho que serve de base para um sistema medição e gestão estratégica, apoiado em cinco princípios: traduzir a estratégia em termos operacionais; alinhar a organização à estratégia; transformar a estratégia em tarefa de todos; converter a estratégia em processo contínuo; e mobilizar a mudança por meio da liderança executiva.

Segundo Guimarães (2015), um modelo de negócio dessa escola deve ser capaz de baixar custos de atendimento e operação dos serviços; reduzir barreira de entrada (financeira); elaborar estratégias inovadoras de sensibilização; criar canais de crédito e subsídios; promover a participação e desenvolvimento do regulador para coibir a intervenção pública sobre o preço (preço político X preço de mercado); dentre outros.

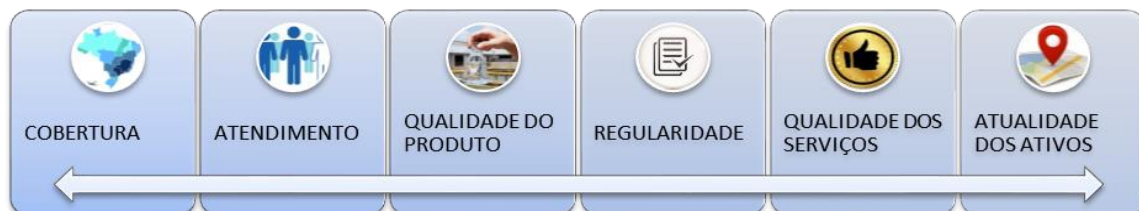
Para os autores, a oscilação da grandeza e propósitos empresariais é diretiva para o sucesso, sendo apresentados em diferenças apoiadas em relação ao modelo do negócio como: percepção dos obstáculos; visão; abertura de mercado de baixa renda e maturação do mesmo; criação de serviços e produtos complementares cujas ações se revertem em benefícios sociais; projetos pilotos antes das implantações em grande escala; rentabilidade; valores da empresa; subsídios; valor percebido sobre um serviço público e concessão de crédito para aumento de consumo com produtos complementares; redução da ineficiência e visão de P&D sobre os setores de baixa renda (GUIMARÃES., 2015).

A implantação de rede de esgoto somente alcançou as metas de atendimento, quando fomentou mobilizações com apoio das ciências sociais para impactar a população, além da utilização do recurso de subsídio às famílias de baixa renda para conexões intra domiciliares. Há a necessidade de determinação de concepções e indicadores que foquem em recursos que visem resguardar a população mais vulnerável e proporcione o acesso aos serviços prestado

por uma concessionária. Faz-se necessário também o fornecimento de instrumentos para fundamentar a utilização dos recursos destinados, almejando a transparência com relação aos benefícios concedidos, bem como fontes de recursos e custos que estão sendo utilizados para financiamento desses serviços.

Identificam-se diversos desafios da universalização do saneamento básico no Brasil: serviços básicos nas áreas de vulnerabilidade social de baixa qualidade ou inexistentes; comportamento da população acessando as redes de forma ilícita; externalidades sobre a saúde pública e o meio ambiente não equacionada; diferentes práticas de gestão e governança; comprometimento dos indicadores regulatórios; e elevada barreira de entrada, referente à baixa renda da população (GUIMARAES et al., 2014). Neste sentido, a universalização dos serviços consiste em estender a toda população, independentemente de contribuição financeira de cada indivíduo, o usufruto dos serviços apropriados às suas necessidades e à sua integralidade (MALHEIROS ET AL., 2006). E, conforme colocado por Heller (2009), a população menos atendida com os serviços, previsivelmente, é a de baixa renda, que vive em situação de maior vulnerabilidade social, ambiental e econômica (RIBAS, 2007). A figura abaixo identifica um estudo de conceitos de universalização, que apresenta um desenvolvimento temporal com um conjunto de concepções.

Figura 2- Ontologia da Universalização do Saneamento.



Fonte: Autor (2018)

Para Cecílio et al (2012), a gestão inovadora e alternativa a um modelo organizativo hegemônico será uma gestão colegiada em que o compartilhamento da gestão é constitutivo.

As formulações iniciais desses grupos são marcadas pela preocupação com a melhor representação possível dos trabalhadores provenientes de diversos níveis e processos da organização, visando à constituição de espaço coletivo de contraste, disputa e composição das diferentes visões e interesses dos atores organizacionais, na perspectiva de uma prática mais solidária, menos autocentrada e mais cuidadora dos usuários.

A relação do fornecedor-usuário cultiva possibilidades de diretrizes que podem ser uma ferramenta para construção de uma gestão compartilhada. Onde os indicadores de desempenho, provenientes da sustentabilidade podem abranger um papel central nesse processo, podendo ser utilizada como instrumento de mobilização das partes, para análises, ações necessárias e avaliação da universalização.

Hubbard (2012) inseriu duas perspectivas para a gestão do saneamento por meio do *Sustainability Balanced Score Card* (SBSC): a social, cuja pergunta é "Qual o impacto dos serviços nas comunidades?"; e a ambiental, cujas perguntas são "como usamos nossos recursos e o que desperdiçamos para criar nossos produtos e serviços?". Harris et al. (2012) analisam a quebra de paradigmas do nível de burocracia sob o ponto de vista das normas, e afirmam que o trabalhador no aspecto individual quer ajudar os outros, mas na vida real enfrenta uma miríade de dilemas e desafios para superação que são limitados por recursos e políticas obscuras e omissas.

As parcerias surgem como possibilidades na construção de indicadores, buscando efetividade na tomada de decisão desde o usuário às concessionárias de serviços de saneamento e setor governamental. Os procedimentos e as normas são executados pelos trabalhadores e o que faz com que eles se dediquem às tarefas. Seu olhar ajudador provê um arranjo para avaliar e construir novos desenvolvimentos no campo (CONNORS; SANYAL, 2012).

A necessidade de reconhecimento da água como um bem vulnerável e finito, a adoção da bacia hidrográfica como unidade de gestão é um dos princípios para a gestão colegiada, pois valoriza e reconhece o valor econômico da água, potencializando a participação da comunidade e descentralizando o poder. Segundo a Associação Mundial para a Água (GLOBAL WATER PARTNERSHIP, 2000), a ideia de gestão integrada da água é um processo que promove a gestão e o aproveitamento coordenado da água, da terra e de todos os recursos relacionados, com a finalidade de maximizar o bem-estar social e econômico de maneira equitativa, sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas. Podem-se destacar cinco principais formas de integração (DOUROJEANNI, 2002):

- 1) a integração dos interesses dos diversos usos e usuários de água e a sociedade em seu conjunto, com o objetivo de reduzir os conflitos entre os que dependem e competem pelo escasso e vulnerável recurso;

2) a integração de todos os aspectos da água que influenciam seu uso e usuários em termos de quantidade, qualidade, principalmente na gestão da oferta e demanda;

3) a integração dos diferentes componentes da água e das diferentes fases do ciclo hidrológico (relação existente entre a gestão da água superficial e subterrânea);

4) a integração da gestão da água e a gestão da terra e outros recursos naturais e todo o ecossistema relacionado;

5) a integração da gestão com o desenvolvimento econômico, social e ambiental.

Jouravlev (2001) afirma que a gestão integrada deverá favorecer simultaneamente o crescimento econômico, a equidade e a sustentabilidade ambiental, via transformação produtiva, prestação de serviço social e conservação de recursos naturais. No entanto, esses três objetivos, em curto prazo, são muito conflitivos entre si, pois se originam da intenção de alcançar o ótimo global, quando cada um deve sacrificar seu ótimo parcial, e isto somente é possível mediante muita negociação. A falta de conhecimento sobre o real valor e sobre indicadores comuns para valorizar os três objetivos é a principal barreira para obter êxito nas negociações e alcançar os objetivos do desenvolvimento sustentável. Um modelo de planejamento de sistemas de abastecimentos e esgotamento sanitário necessita da assimilação das relações de meio ambiente, saúde pública e saneamento.

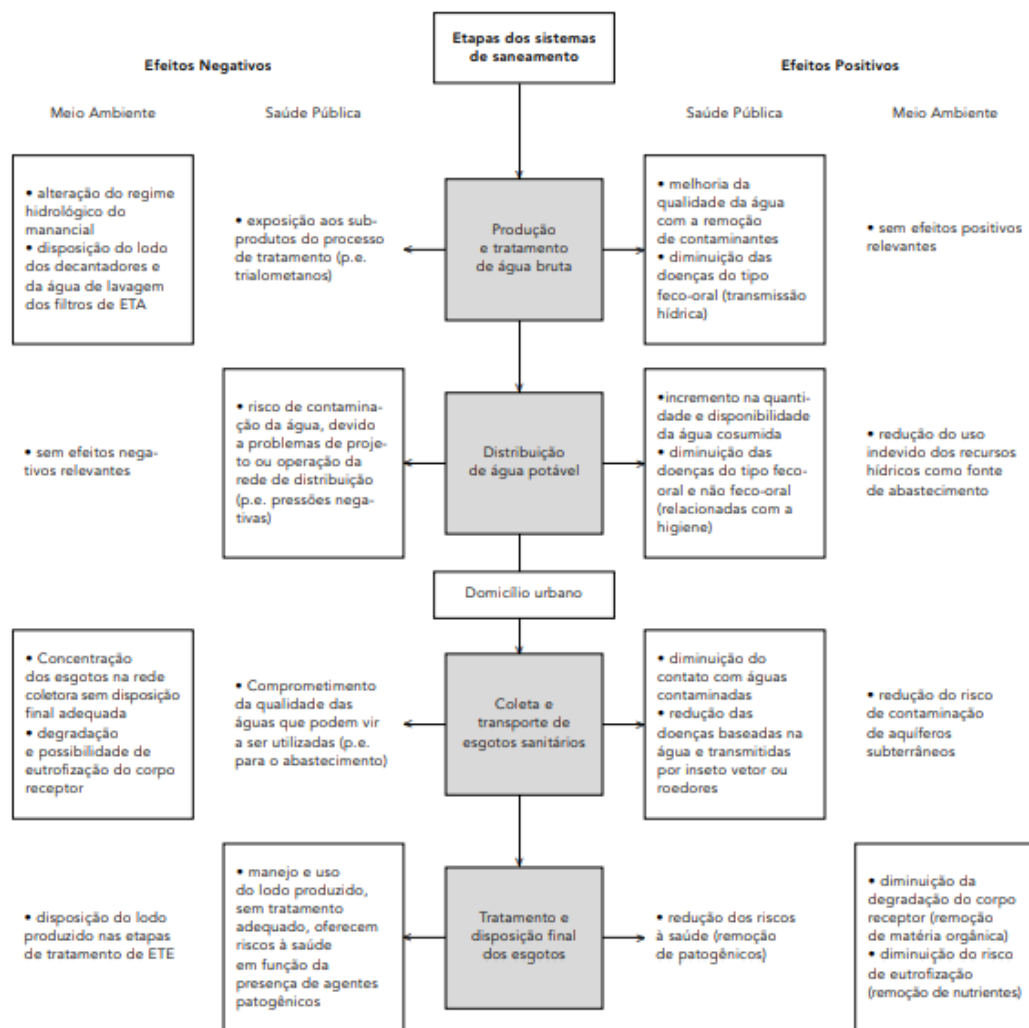
O reconhecimento e análise dos impactos resultantes da implementação dos sistemas deve-se determinar indicadores de prioridades e apontar as ações mais adequadas, uma vez que cada população beneficiada possui características distintas. A definição de indicadores como solução apropriada é complexo, pois possuem diferentes aspectos e dimensões a serem avaliadas na tomada de decisão, como a social, financeira, econômica, política e institucional, tornando difícil estabelecer indicadores. A concepção de conceitos de indicadores de planejamento nos permite verificar a importância e impactos positivos e negativos na implantação dos sistemas, vide figura 3.

A incapacidade da população de arcar com os custos tarifários, é uma questão a ser considerada. Embora haja ausência de redes de saneamento nas áreas mais vulneráveis, o fator determinante para a restrição da população é a baixa renda, incapacitando o pagamento de tarifas caso o sistema seja implantado.

Conforme destaca Koehler (2013), a expansão dos serviços de saneamento básico em direção às áreas periféricas é essencial para que se obtenham avanços substantivos em relação universalização, mas é preciso garantir que o pagamento de tarifas não dificulte ou impeça a conexão às redes de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

Segundo Gomes (2009), em vários municípios brasileiros, adotam-se estruturas tarifárias com faixas ou blocos de consumo, em que tarifas mais baixas são cobradas por consumos menores. Conforme destaca Britto (2010), ainda permanece dominante no Brasil, especialmente no que se refere aos serviços de abastecimento de água – serviços que são mais comumente tarifados - sendo a mais difundida entre companhias estaduais de saneamento, autarquias municipais e empresas privadas.

Figura 3- Efeitos diretos na saúde e meio ambiente provenientes da implementação dos sistemas de água e esgoto.



Um dos argumentos utilizados para justificar a adoção de tal estrutura é o de que os mais pobres consumiriam menos, o que permitiria uma espécie de subsídio cruzado entre classes, em favor das mais baixas.

Além disso, haveria maior estímulo ao consumo racional da água. Em relação ao primeiro fundamento, a literatura questiona a capacidade de tal mecanismo atingir diretamente as classes mais desfavorecidas, considerando que nem sempre o baixo consumo está associado à renda (KOEHLER, 2013, p. 43). Pode, por vezes, relacionar-se a existência do pequeno número de moradores por domicílio ou ao uso eventual da residência, como ocorre no caso de residências secundárias (GOMES, 2009 e ANDRADE, 1996).

Britto (2010) acentua que embora a instituição e o aperfeiçoamento de sistemas tarifários mais inclusivos e de concessão das tarifas sociais sejam importantes para se ampliar o acesso da população de baixa renda aos serviços, as discussões em relação à questão tarifária não devem se esgotar nesse ponto. Ela ressalta que o aprofundamento da discussão sobre a matéria deve envolver também aspectos referentes à própria tematização da desoneração do fornecimento da quantidade mínima de água necessária ao atendimento de necessidades humanas básicas, referentes à sobrevivência, higiene, alimentação e vestimenta. Não excluídas diferenciações de tarifação em favor dos usuários de baixa renda, ela acentua que deve ser objeto de debate a questão relativa a se garantir a todos o direito ao consumo de um volume mínimo de água, cujo custo de fornecimento seria subsidiado por meio de tarifações gradativas ao consumo superior a tal quantidade mínima não tarifada.

A Lei nº 11.445/2007 contém disposição que respalda a instituição de tarifa social com o fim de ampliar o acesso da população de baixa renda aos serviços de saneamento básico. Cabe ressaltar, no entanto que, embora a lei crie a possibilidade de instituição da tarifa, a regulamentação do mecanismo é feita por cada município. Em muitos municípios que instituíram a tarifa social, o critério para a concessão é fixado com base em um consumo mensal máximo de água e por economia (GOMES, 2009).

Gomes (2009) destaca que o modelo de política tarifária de saneamento básico que contribui para maior inclusão do público de baixa renda como beneficiário dos serviços é aquele que estabelece faixas diferenciadas de tarifa em razão do nível socioeconômico dos usuários, o que também se aplica à concessão de subsídios como a tarifa social.

Estabelecer indicadores e traçar metas de universalização, abrangência da cobertura e recebimento dos serviços se faz necessário, visto que é indispensável direcionar e priorizar os investimentos, favorecendo diretamente a população mais vulnerável.

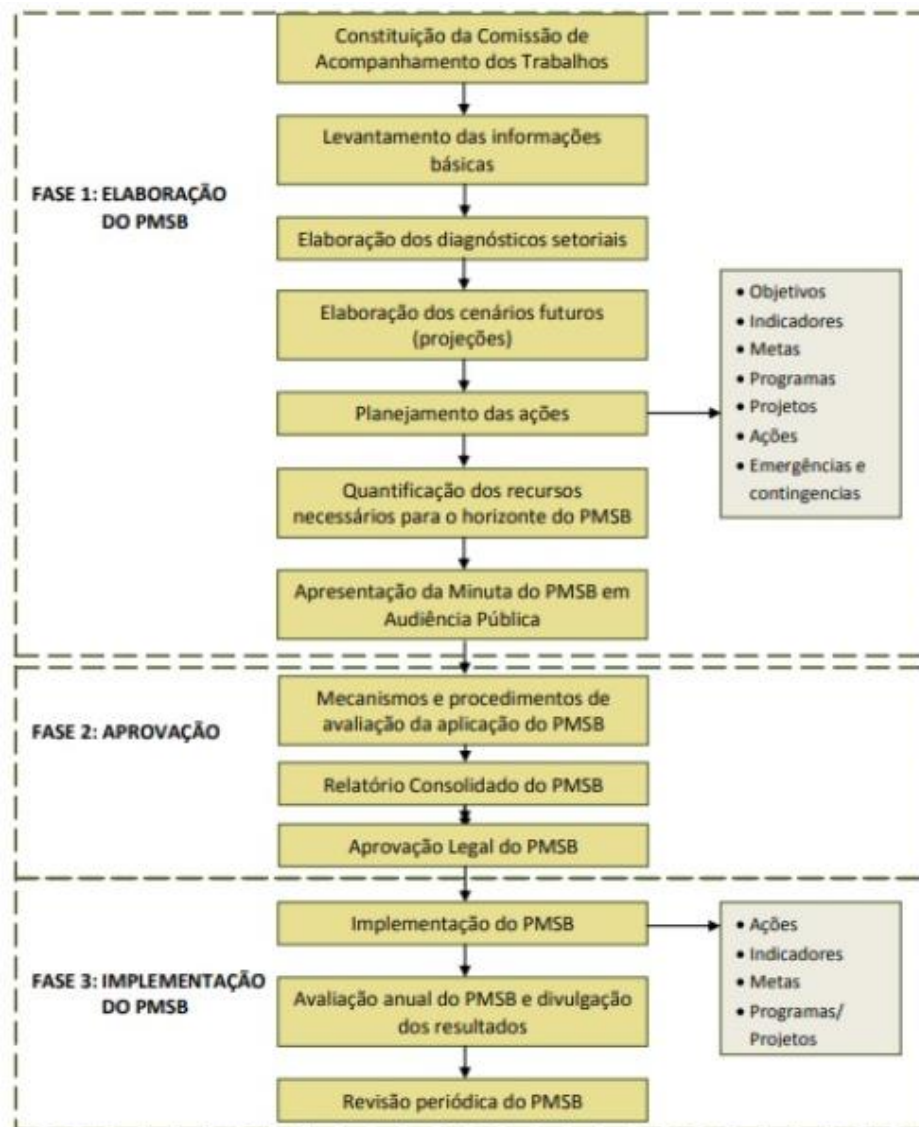
Para o auxílio no processo de planejamento dos serviços, faz-se necessário diversas ações a serem implementados, tais como estruturação de um PMSB apoiado em conceitos, indicadores, custos reais e receitas provenientes de tarifas sociais, que permitam explicitar e abranger as singularidades dessa situação.

2.1.3 Plano Municipal de Saneamento Básico

De acordo com a Lei 11.445/2007, todo município deve elaborar um PSMB, contemplando serviços básicos de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. O impacto da execução e cumprimento do plano promove desenvolvimento do município, influenciando em outros setores sociais, prevenindo doenças, preservando o meio ambiente e preservando os recursos naturais (BRASIL, 2007).

O PMSB deve conter no mínimo, um diagnóstico do saneamento básico do município, verificando as deficiências e necessidades, os objetivos e metas num curto, médio e longo prazo e técnicas para eficiência dos procedimentos planejados. O desenvolvimento do PMSB pode ser analisado como dois procedimentos com foco em questões específicas, que se sucedem, mesmo que possuem grande relação. O primeiro processo é o de elaboração do PMSB. Logo o segundo, é o processo de execução dos métodos para alcançar as metas estabelecidas e o acompanhamento dos resultados, vide figura 4.

Figura 4- Etapas para elaboração e implementação do PMSB.

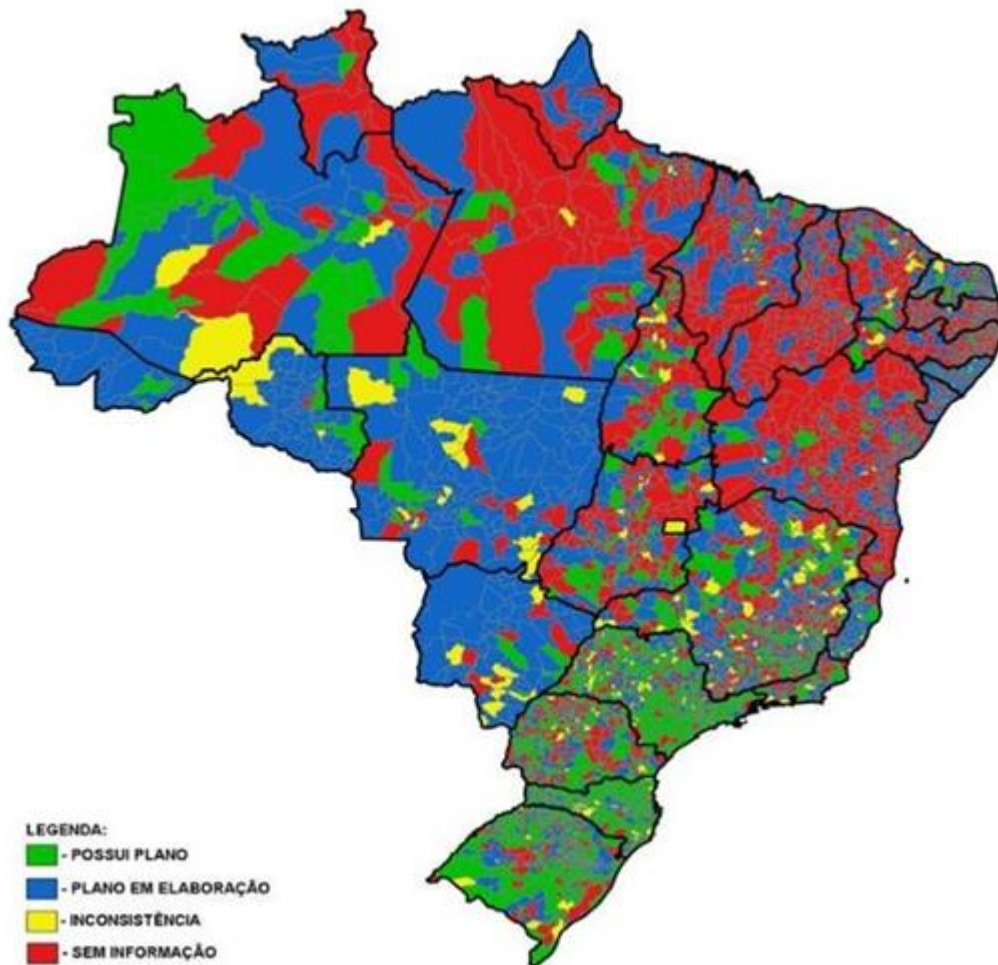


Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB Palmas

A necessidade permanente de reavaliação do plano e o cenário de longo prazo são alguns obstáculos pertinentes do planejamento. A participação da sociedade no processo de planejamento direcionado para sustentabilidade envolve diversos setores.

Segundo dados do SNIS (2015), a região Norte tem os piores índices de saneamento do país, com 56,9% para cobertura de água, 8,7% para esgoto e 16,4% para esgoto tratado. A falta de informação por parte dos municípios prevalece, muitos sem estímulos para criação do plano por não haver profissionais capacitados no quadro de funcionários para tal elaboração.

Figura 5- Panorama dos PMSB.



Fonte: Ministério das Cidades

Conforme ilustra a figura 5, 30% dos municípios brasileiros declararam possuir o plano, em outubro de 2016, e 38% declararam que estão em fase de elaboração. A meta para 2018 segundo o Plano Nacional de Saneamento básico, é que 32% dos municípios tenham o PMSB.

Os cortes de investimentos público vêm inviabilizando as metas estabelecidas para universalização do saneamento básico, porém a busca por alternativas para diminuir esse efeito vem sendo consideradas como: o aumento da fatia do investimento privado no setor por forma de concessões parciais e Parcerias Público-Privadas (PPP), surgindo como possibilidades para atrair capital privado.

2.2 Tecnologias de Sistema Simplificado

No saneamento, parâmetros específicos de atividades desenvolvidas ou comportamento de sistemas podem ser avaliados por indicadores de desempenho, sendo uma medida quantitativa da eficiência e da eficácia de uma instituição gestora.

2.2.1 Metas para avaliação de Estações de Tratamento de Esgotos

As resoluções CONAMA 357/2005 e 430/2011 estabelecem condições para o lançamento de efluentes, porém ambas são insuficientes para uma análise mais precisa de performance de estações de tratamento, (BRASIL, 2011).

Conforme Izabela (2013), o Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas (PRODES), tem o intuito de fomentar a implantação de ETEs no Brasil. Esta plataforma tem a finalidade de incentivar prestadores de serviço de saneamento a implantação e operação de estações de tratamento de esgotos por intermédio do pagamento aos prestadores de serviço de saneamento pelo esgoto tratado. Comprovando a eficiência do sistema, por meio de metas e parâmetros a ser seguido, o empreendedor habilita-se ao recebimento do auxílio.

Para isto, indicadores e metas foram elaborados pela ANA, seguidos pelo PRODES que estabelecem valores per capita em função da população correspondente atendida, como apresenta a figura 6.

Figura 6- Indicadores adotados no Prodes.

Implantação de estações de tratamento de esgotos sanitários – ETE									
Indicador ⁽³⁾	Padrões de eficiência para tratamento de esgotos (em níveis mínimos de abatimento das cargas poluidoras afluentes)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
DBO	30%	60%	75%	85%	85%	90%	90%	90%	90%
SST	40%	60%	75%/60% ⁽¹⁾	85%/60% ⁽¹⁾	85%/60% ⁽¹⁾	90%	90%	90%	90%
CF					99,999%		99,999%		99,999%
PT								85%	85%
e/ou								e/ou	e/ou
NTK								80%	80%
Pop. equivalente (hab.) ⁽²⁾	Valores per capita de referência (R\$/hab.)								
até 10.000	20	35	55	80	85	100	105	120	125
de 10.001 a 20.000	20	30	50	70	75	90	95	110	115
de 20.001 a 50.000	15	25	45	60	65	80	85	100	105
de 50.001 a 100.000	10	20	40	55	60	75	80	95	100
de 100.001 a 200.000	10	20	40	55	60	75	80	95	100
acima de 200.000	10	20	40	55	60	75	80	95	100

Obs.: (1) 60% somente para os tratamentos que contemplem lagoas produtoras de algas.
(2) Carga média diária de DBO de projeto da ETE dividida por uma carga média per capita de 54g DBO/dia.
(3) DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio; SST = Sólidos Suspensos Totais; CF = Coliformes. Termotolerantes; PT = Fósforo Total; NTK = Nitrogênio Total Kjeldahl.

Fonte: ANA (2002)

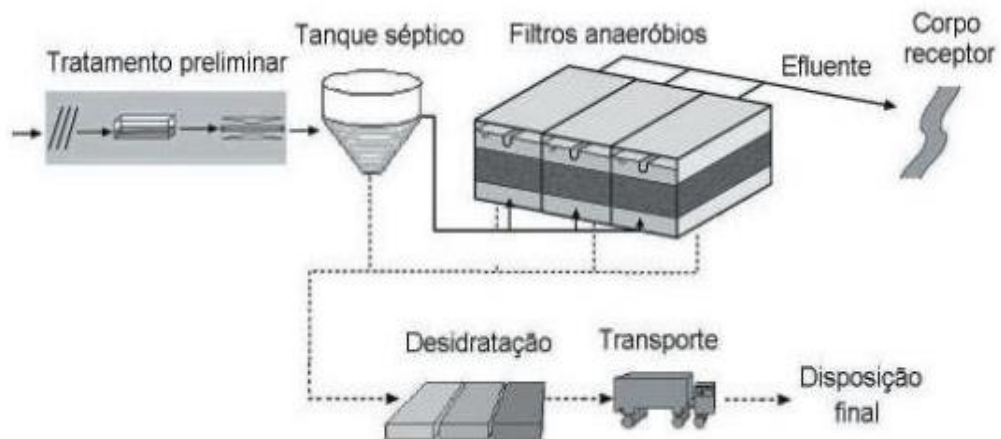
Nessa tabela identificam-se percentuais dos indicadores DBO, SST, CF, PT e NTK para cada modelo de rendimento, os valores são relacionados com a população equivalente atendida.

- Padrão A: tratamento primário (ex: tanque séptico e decantação);
- Padrão B: baixa eficiência na remoção de DBO, tratamento secundário (ex: UASB);
- Padrão C: eficiência baixa e intermediária na remoção de DBO, tratamento secundário (ex: tanques sépticos seguidos de filtros anaeróbios).
- Padrão D: tratamento secundário de eficiência intermediária na remoção de DBO (ex: UASB seguidos de alguns tipos de pós-tratamento).
- Padrão E: eficiência intermediária na remoção de DBO, tratamento secundário (ex: tanque séptico + infiltração).
- Padrão F: alta eficiência na remoção de DBO, tratamento secundário (ex: reatores UASB seguidos de alguns tipos de pós-tratamento).
- Padrão G: alta eficiência na remoção de DBO (ex: lodos ativados convencional + filtração terciária).
- Padrão H: alta eficiência na remoção de DBO, tratamento terciário para remoção de substâncias (ex: UASB + flotação por ar dissolvido).
- Padrão I: alta eficiência na remoção de DBO, tratamento terciário para remoção de substâncias, incorporando remoção de organismos patogênicos (ex: UASB + flotação por ar dissolvido, seguidos por desinfecção).

A utilização de reatores UASB como sistemas simplificados que buscam aumentar eficiência, vem se tornando realidade no Brasil, demonstrando grande aplicabilidade para qualquer população esgotada, possuindo eficiência elevada pela inclusão da etapa de tratamento anaeróbio prévio com boa remoção de DBO, produz menor quantidade de lodo, economiza energia elétrica, custo baixo, dentre outras vantagens.

Segundo (CHERNICHARO et al., 2001), a utilização de tanque séptico + filtro anaeróbio, possui um sistema simples de construção e operação, não necessita empregar elevatórias ou equipamentos eletromecânicos, conforme ilustra a figura 7, o padrão C com eficiência baixa e intermediária na remoção de DBO, vem sendo bastante utilizado em comunidades de pequeno porte.

Figura 7- Fluxograma do sistema fossa-filtro.



Fonte: (CHERNICHARO et al., 2001).

O sistema fossa-filtro consiste na remoção de grande parte dos sólidos em suspensão no tanque séptico, ocasionando a sedimentação, que sofre o processo de digestão anaeróbia pela atuação do lodo que se acumula no fundo do tanque. A remoção complementar de DBO consiste após o efluente do tanque séptico ser direcionado ao filtro anaeróbio.

2.2.2 Critérios e Parâmetros do Projeto

A Portaria N° 2914 do Ministério da saúde, estabelece alguns parâmetros no que se refere à qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade. É de Responsabilidade do encarregado do sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água para o consumo humano:

- Exercer o controle da qualidade da água,
- Garantir a operação e a manutenção das instalações destinadas ao abastecimento de

água potável em conformidade com as normas técnicas pertinentes;

- Capacitação e atualização técnica de todos os profissionais que atuam de forma direta no fornecimento e controle da qualidade da água para consumo humano;
- Análises laboratoriais da água;
- Monitorar e assegurar a qualidade da água distribuída;
- Proporcionar atendimento ao público para devidas reclamações;
- Contribuir com órgãos públicos para proteção dos recursos naturais;
- Verificação do PH, DBO, OD, coliformes, turbidez assegurando a qualidade da água tratada.

Seguir as determinações para projetos de estação de tratamento de água, conforme rege NBR 12216:1992 (ABNT, 1992).

A Resolução N° 430 do CONAMA, estabelece alguns parâmetros no que se refere ao lançamento indireto de efluentes no corpo receptor e diretrizes da operadora dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto sanitário.

- Os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características de qualidade fora das metas estabelecidas;
- Os responsáveis deverão realizar um monitoramento para controle e acompanhamento periódico dos efluentes;
- As fontes poluidoras dos recursos hídricos deverão buscar práticas de gestão de efluentes, melhorando a qualidade de efluentes gerados e, possivelmente reutiliza-la;
- Atender as condições e padrões de lançamentos;

Seguir as determinações para projetos de estações de tratamento de esgoto sanitário, conforme rege NBR 12209:1992 (ABNT,1992).

2.3 Wetlands

Wetlands construídas busca a propagação de organismos cujo principal objetivo é tratar o efluente com eficiência. Com potencial para devido investimento, o sistema pode ser construído acima ou abaixo da superfície do solo existente, dispondo do auxílio da adição de camadas impermeáveis ou de membranas geossintéticas. Recomenda-se a utilização de uma capa argilosa de aproximadamente 30 cm para que as espécies vegetais floresçam e apresentem propriedades adequadas para o enraizamento.

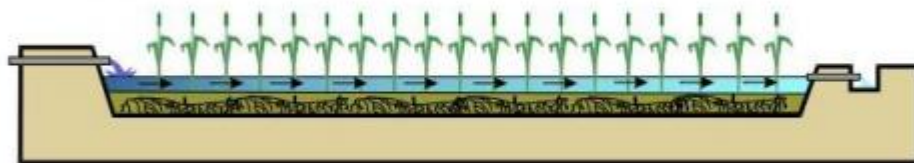
Conforme Kadlec e Knight (1996), o sistema apresenta três alternativas para implantação: fluxo subsuperficial (FSS), fluxo superficial (FS) e fluxo vertical.

2.3.1 Fluxo Superficial

Possui o sistema de lâmina livre, evidenciando o fluxo através da vegetação constituída de macrofitas emergentes, sendo submetido a uma condição flutuante ou submersa.

O sistema possui a exelente eficácia na remoção de sólidos suspensos e matéria orgânica. Segundo Knight e Wallace (2004), o método apresenta desvantagens, com potencial para produção de odor e proliferação de mosquitos, conforme ilustra a figura 8.

Figura 8- Representação esquemática do sistema de fluxo superficial.



Extraído de : Poças (2015)

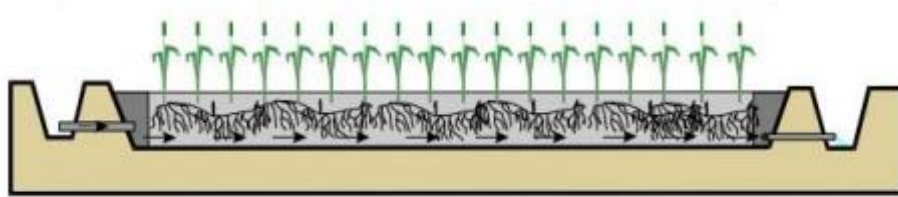
2.3.2 Fluxo Subsuperficial

Composto por filtros prolongados preenchido com areia ou brita como apoio e onde se desenvolve as raízes das plantas. A altura do substrato deve respeitar uma altura de até 60 cm, onde ao ingressar, o efluente passa pela estrutura e entra em contato com um conjunto de

bactérias facultativas que estão em contato com as raízes da vegetação.

Este tipo comprova grande eficiência na remoção de metais pesados, nitrogênio e fósforo, correspondente a vasta diversidade de reações que atuam no solo. A imagem 9 retrata esquematicamente o sistema.

Figura 9- Representação esquemática do sistema de fluxo subsuperficial.



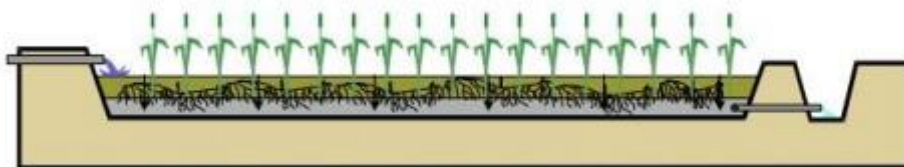
Extraído de : Poças (2015)

2.3.3 Fluxo Vertical

Dispondo de baixo nível d'água, o sistema é composto de filtros verticais descontínuos, constituído por areia ou brita, dificultando a proximidade com animais e pessoas.

Comumente aplica-se sistemas em paralelo sobre regime intermitente, enquanto um recebe o efluente os outros estão em descanso, ocorrendo assim a secagem do lodo e preservação das condições anaeróbias. A figura 10 ilustra esquematicamente o sistema.

Figura 10- Representação esquemática do sistema de fluxo vertical.



Extraído de : Poças (2015)

2.3.4 Mecanismos de Remoção

Dispondo de grande potencial na remoção de variados poluentes, a figura 11 retrata uma síntese dos elementos e mecanismo de extração.

Figura 11- Síntese dos elementos e mecanismo de extração.

Constituintes	Mecanismos de remoção
Sólidos Suspensos	Sedimentação e filtração
Metais	Complexão, precipitação Utilização pela planta Oxidação redução (bioquímica) Sedimentação Filtração
Patógenos	Predação, morte natural, irradiação UV e excreção de antibiótico proveniente das raízes das macrófitas
Fósforo	Adsorção, utilização pela planta e adsorção e troca de cátions
Nitrogênio	Utilização pela planta Volatilização de amônia
Material orgânico solúvel	Degradação aeróbia e anaeróbia Amonificação, nitrificação e desnitrificação (biológico)

Extraído de : Cooper et al. (1997)

2.4 Fatores Influentes no Desempenho de *Wetlands* Construídas

Limitado e pouco explorado no Brasil, os *Wetlands* construídos caracterizam-se como uma alternativa para o tratamento de efluentes com pequenas vazões. Destaca-se por ser uma forma de tratamento que o custo tende a ser inferior devido a simplicidade e baixa tecnologia. Mitsch e Gosselink (1993), definem o sistema *Wetland* como um tipo de diversidade vegetal que exercem a maior parte do tempo encoberto por água a pequena profundidade, qualificadas para operar no tratamento do esgoto urbano.

As particularidades e características necessárias desse ecossistema varia conforme as condições climáticas, geologia, tipo de solo e etc. Determinar as características conforme o as propriedades adotadas é um desafio, onde é relevante o conhecimento dentro das funções onde o ecossistema está sendo implantado. Dentre essas características destacam-se:

- Eficiência ao regularizar o fluxo nos momentos de pico nas enchentes;

- Proteção a fauna e a flora;
- Domínio quanto a erosão, evitando assim o assoreamento dos rios;
- Controlar a qualidade das águas;

Rico em seu habitat, os sistemas *Wetlands* possuem particularidades e características onde o terreno conserva-se parcialmente ou permanente ao longo do ano saturado. Conforme (Norte et al., 2015), a grande diversidade da fauna e flora contribui por meio de técnicas diferentes para melhoria da qualidade da água local. Os caules e raízes das plantas contribuem para redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) por meio de bactérias que se hospedam, possuem também a capacidade de filtrar diferentes elementos, inclusive metais pesados. Algumas propriedades das plantas são:

- Ampliam a capacidade de condução hidráulica;
- Consolida o meio suporte;
- Integração estética e paisagística;
- Expande a capacidade redor e liberam oxigênio;
- Limitam o desenvolvimento do processo de colmatação;

É extensa a diversidade das plantas com potencial para o sistema, podendo subdividir em duas vertentes: paisagística e agroeconômica. Conforme (Norte et al., 2015), as plantas utilizadas devem atender as particularidades da região que será implantado o sistema, além de possuir características e tolerância com o fluxo contínuo de efluentes e áreas saturadas ou submersas.

Segundo Lima (2011), o uso de plantas para o tratamento de efluente é um atrativo, possibilitando oportunidades para educação ambiental da comunidade. Mashauri et al. (2000), indica possíveis benefícios com o uso do sistema, como:

- Atividades simples, sem a necessidade de mão de obra qualificada;

- Proporciona o reuso tanto do sedimento quanto do efluente, respectivamente como fertilizante e água para irrigação;
- Necessita de baixo consumo de energia;
- Pode utilizar as plantas na produção de matéria-prima e biogás;

Valentim (2003) relata que o Brasil possui condições climáticas favoráveis para implantação do sistema, além da ausência de tratamento de efluentes, especialmente em pequenos municípios.

Com potencial e capacidade no tratamento de água poluída, as *Wetlands* construídas caracterizam pelo tratamento de efluentes de pequenas vazões, evidenciando que variáveis podem afetar a eficiência do sistema como: meteorologia, hidrologia, operação, biodiversidade e tipo do solo.

Apresenta-se a seguir os princípios fundamentais que possam afetar no funcionamento das *Wetlands*:

- Solo e Geologia: Segundo Lautenschlager (2001), é relevante o sistema possuir uma faixa de solo que impossibilite a lixiviação dos poluentes para o lençol freático. As interações solo-poluento influenciam e desempenham papel essencial com o fenômeno de sorção.
- Fatores Climáticos: As condições que podem influenciar no desempenho do sistema são: Precipitação – picos de chuva podem afetar o balanço hídrico da estrutura; Vento – prejudica nas trocas gasosas, gera agitação no escoamento e altera as taxas de evapotranspiração; Temperatura – podem afetar na evapotranspiração, reações físico-químicas e volatilização; Radiação Solar – afeta no desenvolvimento dos vegetais; e,
- Fatores Biológicos – as plantas desempenham papel importante na absorção e remoção de poluentes em seus caules inundados e grandes raízes. Recomenda-se análise e acompanhamento do sistema para que não deixe de cumprir a finalidade para o qual está designada procurando evitar eventuais efeitos de cargas tóxicas e que os microorganismos decompositores consumam o DBO disponível.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho, visa discursar as novas preocupações geradas pelos direitos fundamentais aos serviços primordiais, colaborando no esclarecimento e assimilação das complexidades de interesses, propondo soluções para melhorias.

3.1 Desenho do Estudo

A pesquisa caracterizou-se como exploratória, descritiva, qualitativa e aplicada, visando fornecer análises úteis para lidar com a dificuldade pertinente às operadoras e reguladoras de serviço de saneamento básico. Com concepções de analisar o possível uso de indicadores e instrumentos de gestão para alcançar a universalização dos serviços de saneamento.

3.2 Objeto de Estudo

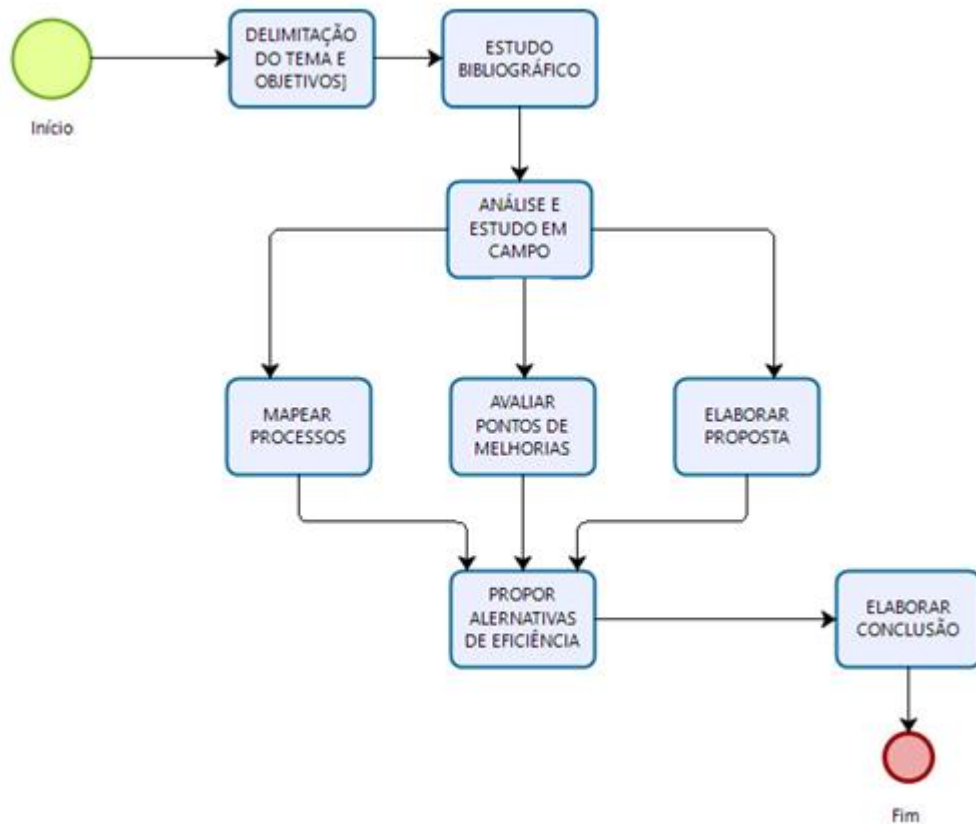
O objeto estudo foi um sistema de tratamento para o esgoto da cidade de Rio dos Bois (TO), que possui uma população estimada em cerca de 2811 habitantes (IBGE, 2018). Município selecionado pela facilidade de acesso às informações e pela cidade não possuir tratamento de esgoto sanitário. Visando a necessidade de implantação de um sistema que possa tratar o esgoto gerado, elaborou-se uma proposta com soluções de baixo custo e complexidade utilizando a técnica *Wetland*.

3.3 Instrumento de Coleta de Dados e Análise

O estudo ocorreu por meio de estudos e análises apresentados no referencial, visando soluções e alternativas para elaborar uma proposta que cumpra os requisitos mínimos para o tratamento de efluentes, fornecendo resultados de baixo nível de complexidade e custo.

Os procedimentos científicos adotados nesta pesquisa conforme fluxos apresentados na figura 12 para atendimento dos objetivos.

Figura 12- Fluxo da pesquisa.



Fonte: Autor (2018)

Cada passo do processo de pesquisa é descrito a seguir:

Passo 1 – Delimitação do tema e objetivos – Nesta etapa, foram definidos o escopo e a intersecção entre os projetos de pesquisa conduzidos no NEI;

Passo 2 – Estudo Bibliográfico – Nesta etapa, o pesquisador fez um estudo a respeito das leis e projetos do saneamento básico, tratamento de esgoto e a definição de cada passo do estudo. O enfoque da pesquisa foi avaliar possíveis pontos de melhoria no processo de SB de uma pequena cidade e propor a técnica *Wetland* para o tratamento de esgoto sanitário que devem ser incorporados na proposição de um anteprojeto;

Passo 3 – Análise e definições de projeto – Nesta etapa, o pesquisador avaliou e determinou, os processos que serão sugeridos para o tratamento de esgoto da cidade de Rio dos Bois – TO;

Passo 4.1 – Mapear os processos – Nesta etapa o pesquisador sintetizou os métodos de gerenciamento utilizados pelo sistema *Wetland*. Assim, estes foram tomados como base para avaliar os processos do saneamento básico do município de Rio dos Bois;

Passo 4.2 – Buscar soluções e alternativas – Em paralelo, ao levantamento de cada processo, os pontos positivos e de melhoria foram descritos, observando aspectos humanos, metodologia, equipamentos, procedimentos e o meio em que será executados;

Passo 4.3 – Elaborar Proposta – Em posse destas informações, o pesquisador procurou dentro do referencial teórico; com base na Portaria 2914 do Ministério da Saúde e na Resolução CONAMA 430 analisar o processo e propor recomendações, soluções e alternativas para Rio dos Bois;

Passo 5 – Propor alternativas de eficiência – Analisada e confirmada à viabilidade de uso das alternativas, o pesquisador propôs diretrizes para elaboração do PMSB da cidade, atuando como uma ferramenta estratégica de gestão para a Prefeitura;

Passo 6 – Elaborar a conclusão - Após a análise dos resultados alcançados pelas alternativas propostas, o pesquisador consolidou os pontos passíveis de aplicação em outras realidades similares. Assim, como a retomada das hipóteses e síntese dos benefícios e melhorias alcançados com a utilização da abordagem investigativa adotada.

O protocolo de pesquisa, vide quadro abaixo, consolida as etapas que foram realizadas no escopo deste trabalho.

Quadro 1- Protocolo da pesquisa.

Visão Geral do Projeto
<p>Objetivo: Elaborar um anteprojeto utilizando a técnica da <i>Wetland</i> para o tratamento de esgoto e gerar indicadores para a cidade de Rio dos Bois, que tem menos de 15.000 habitantes.</p> <p>Assuntos do estudo: Processos de tratamento com certificação de qualidade, Elaboração do PMSB, Saneamento básico em populações vulneráveis no Brasil.</p> <p>Leituras relevantes: Lei 11,455/2007, técnicas de <i>Wetlands</i> Contruídas para o tratamento de esgotos.</p>
Procedimentos de Campo
<p>Apresentação das credenciais: Não se aplica.</p> <p>Fonte de Dados: Primárias (bibliográfica).</p> <p>Advertências de Procedimento: Não se aplica.</p>
Questões investigadas no estudo:
<p>Processos certificados e legislação vigente para saneamento básico; Práticas de tratamento de esgoto; Projetos de engenharia de saneamento básico; e, Práticas de saneamento básico em pequenos municípios, com menos de 15.000 habitantes.</p>
Esboço para o relatório final:
<p>Diagnóstico do nível de universalização do saneamento na cidade de Rio dos Bois; Propor indicadores para implantação do sistema <i>Wetland</i> no processo de tratamento de esgoto; Incorporar estes indicadores na elaboração do PMSB;</p> <p>Identificar os desafios e propor alternativas para melhoria do saneamento básico em Rio dos Bois.</p>

Fonte: Autor (2018).

4 ANTEPROJETO PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA

Diante do cenário atual da crise hídrica no Brasil, a tecnologia *Wetland* propõe alta eficiência e simplicidade para o tratamento de esgotos para populações de até 15 mil habitantes. Compõe-se principalmente de uma escavação rasa no solo, com a base impermeabilizada, compactada e preenchida com material filtrante, revestidos por vegetação específicas que auxilia no tratamento dos efluentes.

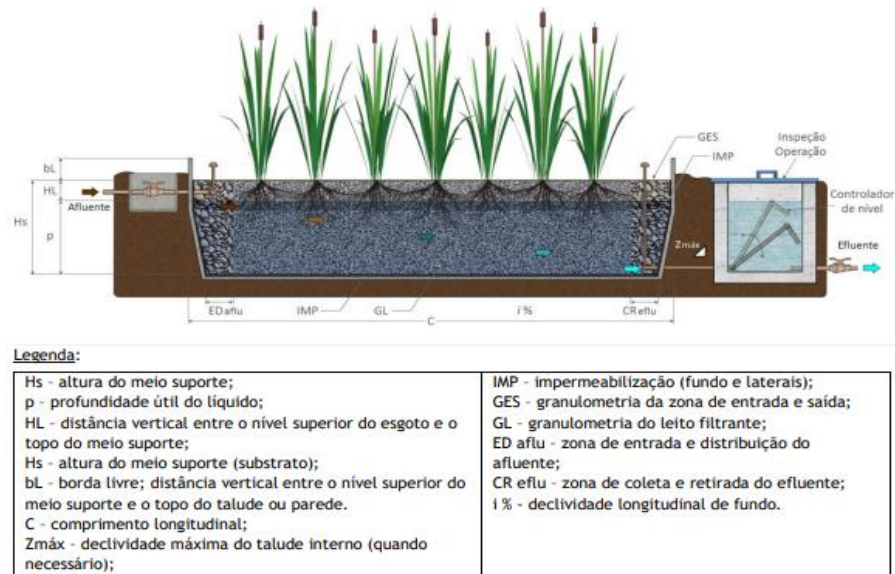
Nesse sistema, ocorrem processos químicos (oxidação, redução, precipitação), físicos (sedimentação, filtração) e biológicos (degradação e absorção) simultaneamente, contribuindo para o vigor e a eficiência do método.

Considerados alternativas de baixo custo o agrupamento do sistema integra o aspecto paisagístico, tornando-se um atrativo, podendo operar em parques, áreas próximas a população e etc.

4.1 Estrutura do Sistema

Adotou-se como a técnica de tratamento do efluente o sistema *Wetland* constituído de escoamento horizontal subsuperficial (WCH). O processo escolhido consiste no tratamento do líquido ordenado no segmento inicial do leito, que irá transcorrer vagarosamente através da vegetação e material filtrante até a extremidade oposta. Com o nível do líquido abaixo da cota superior dos elementos filtrantes, o fluxo ocorre de forma horizontal ao longo da segmentação longitudinal. O deslocamento do efluente ocorre, portanto, em um ambiente saturado hidraulicamente.

Figura 13- Esquema representativo do perfil longitudinal do WCH.



Fonte: Sperling e Sezerino (2018)

4.2 Características de Dimensionamento WCH

4.2.1 Estimativa da Vazão

Segundo Mecalff e Eddy (1991), o cálculo para definir a vazão diária conforme ilustra equação 1, é dado por:

Equação 1- Vazão do efluente

$$Q_{méd} = \frac{P \cdot q \cdot R}{1000}$$

Onde:

$Q_{méd}$ = vazão doméstica média de esgoto (m^3/d)

P = número de contribuintes (hab.)

q = cota per capita de água (L/hab.dia)

R = coeficiente de retorno

Fonte: Weber et al. (2015).

Para obtenção dos valores da cota per capita de água e coeficiente de retorno, utilizou-se a norma técnica NBR 7229 (ABNT, 1993), conforme indicado na figura abaixo.

Figura 14-Valores da cota per capita

Prédio	Unidade	Contribuição de esgoto (L/dia)
1. Ocupantes permanentes		
• Residência		
Padrão alto	peessoa	160
Padrão médio	peessoa	130
Padrão Baixo	peessoa	100
• Hotel (exceto lavanderia e cozinha)		
	peessoa	100
• Alojamento provisório		
	peessoa	80

Fonte: Adaptado de ABNT (1993).

4.2.2 Dados de Entrada Relativos á Vazão e a Carga de DBO Afluentes

Estima-se inicialmente com base no esgoto afluente ao sistema de tratamento o valor da carga de DBO. Esta carga é obtida de acordo com a equação 2:

Equação 2- Carga de DBO

$$Carga\ de\ DBO\ do\ esgoto\ bruto\ \left(\frac{g}{d}\right) = Carga\ per\ capita\ \left(\frac{g}{hab.d}\right) \times População\ (hab)$$

Fonte: Sperling e Sezerino (2018)

4.2.3 Área Superficial Requerida

Calcula-se a área superficial adotando um valor para taxa de aplicação orgânica superficial conforme a norma técnica NBR 7229 (ABNT, 1993). Obtém-se essa área através da equação 3 ilustrada na equação abaixo:

Equação 3- Área superficial requerida

$$\text{Área superficial requerida (m}^2\text{)} = \frac{\text{Carga de DBO afluyente aos wetlands } \left(\frac{\text{gDBO}}{\text{d}}\right)}{\text{Taxa de aplicação orgânica superficial } \left(\frac{\text{gDBO}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}\right)}$$

Fonte: Sperling e Sezerino (2018).

4.2.4 Verificação da Taxa de Aplicação Hidráulica

Segundo Sperling e Sezerino (2018), o cálculo para definir a taxa de aplicação hidráulica conforme equação 4 abaixo, é dado por:

Equação 4- Taxa de aplicação hidráulica

$$\begin{aligned} \text{Taxa de aplicação hidráulica superficial resultante } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}\right) &= \\ &= \frac{\text{Vazão média afluyente aos wetlands } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right)}{\text{Área superficial requerida (m}^2\text{)}} \end{aligned}$$

Fonte: Sperling e Sezerino (2018).

4.2.5 Número de Unidades em Paralelo

Determina-se o número de unidades operando em paralelo conforme equação 5, após estabelecer a definição da área superficial, assim estimando a área superficial de cada unidade.

Equação 5- Área de cada unidade

$$\text{Área de cada unidade (m}^2\text{)} = \frac{\text{Área total (m}^2\text{)}}{\text{Número de unidades em paralelo (-)}}$$

Fonte: Sperling e Sezerino (2018)

Como forma de evitar sistemas com grandes dimensões, preconiza a implantação de unidades “reservas” visando uma maior versatilidade operacional. Em sistemas de tratamento de esgotos de pequeno porte alguns projetistas recomendam outra unidade igual, em paralelo, que pode ser operada com revezamento da alimentação.

4.2.6 Largura e Comprimento de cada Unidade

Com o intuito de reduzir a perda de carga hidráulica, adota-se a maior dimensão como a entrada do efluente. Recomenda-se a utilização dos fatores (C:L) : 2:1 ou 4:1 conforme Sperling e Sezerino (2018).

Define-se a largura e comprimento de cada unidade através da equação 6 ilustrada abaixo:

Equação 6- Dimensionamento da largura e comprimento da unidade

$$\text{Comprimento (m)} \times \text{largura (m)} = \text{Área de cada unidade (m}^2\text{)}$$

$$\frac{\text{Comprimento (m)}}{\text{Largura (m)}} = \text{Relação comprimento/largura}$$

Fonte: Sperling e Sezerino (2018)

Sperling e Sezerino (2018) recomendam utilizar 25 a 30 m como largura máxima de cada módulo, pois simplifica a distribuição equilibrada ao longo da unidade.

4.2.7 Volume Útil do Líquido

Determinante para definição do volume útil do líquido, a porosidade é estabelecida conforme granulometria adotada no meio filtrante, variando entre 0,3 e 0,4. Com o decorrer da operação do sistema, pode ocorrer a redução da porosidade. A equação 7 explicita o cálculo para determinar o volume útil do líquido ocupado.

Equação 7- Cálculo do Volume Útil do Líquido

$$\begin{aligned} \text{Volume útil do líquido (m}^3\text{)} \\ &= \text{Comprimento (m)} \times \text{Largura (m)} \times \text{Profundidade útil (m)} \\ &\times \text{Porosidade (-)} \end{aligned}$$

Fonte: Sperling e Sezerino (2018)

4.2.8 Tempo de Detenção Hidráulica

DUPOLDT et al. (2000) orienta quanto a importância da assertividade no dimensionamento de wetands subsuperficiais, o tempo de detenção hidráulico (TDH) está diretamente associado à eficácia do tratamento. Conforme sugerido por Mecalf e Eddy (1991), recomenda-se utilizar duas camadas de meios filtrantes: areia grossa e argila expandida. Conforme ilustra a equação 8, adaptada por WEBER et al. (2015), para assegurar a eficácia do sistema. O cálculo para definir o tempo de detenção hidráulica demandado é definida conforme equação 8:

Equação 8- Tempo de detenção hidráulica

$$\text{Tempo de detenção hidráulica (d)} = \frac{\text{Volume útil do líquido (m}^3\text{)}}{\text{Vazão média (}\frac{\text{m}^3}{\text{d}}\text{)}}$$

Fonte: Sperling e Sezerino (2018)

4.2.9 Manejo das Plantas

De forma a maximizar a eficiência do sistema, deve haver o manejo adequado da vegetação, considerando que com o passar do tempo há um acréscimo considerável na densidade das plantas. Sperling e Sezerino (2018) recomendam a poda durante a fase de crescimento da planta, com o objetivo de estimular uma maior capacidade na remoção dos nutrientes. Souza (2015) recomenda utilizar a densidade do plantio cerca de foi de 5 mudas/m².

4.2.10 Altura do Meio Suporte

Impactando diretamente no volume do sistema a ser implantado, a granulometria juntamente com a área superficial, Sperling e Sezerino (2018) afirmam que implementação de uma maior área (altura x largura) ameniza a perda de carga hidráulica. WEBER et al. (2015) recomenda a aplicação de 0,50 a 0,90 m.

4.2.11 Profundidade da Lâmina de Esgoto

Visando uma menor perda de carga, Sperling e Sezerino (2018) recomendam utilizar maiores concepções de profundidade, variando de 0,40 a 0,80 m.

4.2.12 Declive Longitudinal e Inclinação dos Taludes

Sperling e Sezerino (2018) sugerem utilizar a variação 0:1 a 2:1 (H:V) para inclinação dos taludes e de 0 a 1% a declividade longitudinal.

4.3 Características dos Elementos Componentes

4.3.1 Granulometria do Leito

Sperling e Sezerino (2018) indicam quanto as especificações de britas empregadas:

- Leito filtrante: de brita 0 (4,8 a 9,5 mm) á brita 2 (19 a 25 mm), considerando que menores granulometria proporcionam uma melhor eficácia na filtragem, porém pode ocorrer elevar o risco de colmatação;
- Zona de entrada e saída do efluente: Brita 4 (50 a 76 mm) ou pedra de mão (superior a 76 mm);

4.3.2 Entrada e Retirada do Efluente

Habitualmente, utiliza-se entrada submersa visando não expor o esgoto acima da superfície. Quanto a tubulação recomenda-se a entrada com o comprimento de 0,5 a 1,0m,

diâmetro de 100mm espaçados a cada 10cm e furos de 20mm. Na saída do efluente, utilizar controlador de nível como forma de alterar o nível da água.

4.3.3 Impermeabilização do Fundo e Paredes

Recomenda-se a utilização de materiais como geomembranas de PEAD de espessura de 1,5mm que asseguram uma impermeabilização adequada, tal como estabelecidas previamente por critérios geotécnicos.

4.3.4 Manejo e Utilização das Plantas

Sperling e Sezerino (2018) sugerem utilizar cerca de 4 mudas por m². Deve-se atentar quanto ao crescimento excessivo. Podas durante a fase de crescimento potencializam a eficiência na extração dos compostos.

4.3.5 Recomendações quanto a Operação

- Propõe-se a utilização de uma unidade *Wetland* reserva devido a instabilidade nos picos de chuva, podendo operar em regime simultâneo ou intermitente;
- Destinação final do reúso da água para agricultores e vegetação do município;
- Após um período de 5 a 15 anos, considerando a curva descendente quanto a eficiência da operação, direcionar o efluente para a unidade reserva e remover o composto orgânico visando reaproveitar a biomassa.
- Após o processo de tratamento, o efluente deve estar em parâmetros adequados para reúso;

5 RESULTADOS

Os resultados foram apresentados conforme os tópicos abaixo levando em consideração o objetivo geral desse trabalho que é elaborar um anteprojeto utilizando a técnica da *Wetland* para o tratamento de esgoto e gerar indicadores para a cidade de Rio dos Bois, que possui cerca de 2811 habitantes.

5.1 Dimensionamento do Sistema *Wetland*

Tanto na área rural quanto na área urbana possui características distintas de projeto para tratamento de efluentes.

Visando dimensionar o sistema *Wetland* para operar o tratamento de efluentes do município estudado, foi adotado e calculado os dados conforme especificado no item 4.2.

Recomenda-se algumas observações quanto ao emprego e operação, como:

- Propõe-se a utilização de uma ou mais unidades reservas devido a instabilidade nos picos de chuva, podendo operar em regime simultâneo ou intermitente;
- Destinação final do reúso da água para agricultores e vegetação do município;
- Após um período de 5 a 15 anos, considerando a curva descendente quanto a eficiência da operação, direcionar o efluente para a unidade reserva e remover o composto orgânico visando reaproveitar a biomassa.
- Após o processo de tratamento, o efluente deve estar em parâmetros adequados para reúso;

5.1.1 Definição da Vazão

Para estimar a vazão de entrada no sistema, considerou-se o tratamento tanto de água negra quanto água cinza sendo tratados juntos. Conforme equação especificada no item 4.2.1 a população (P) estimada do município corresponde a 2811 habitantes. Por tratar-se de uma cidade de padrão baixo, foi adotado uma cota per capita de água (q) de 100 l/hab.dia.

Conforme (VON SPERLING, 1996), usualmente, adota-se o coeficiente de retorno (R) de 80%.

Assim o efluente a ser tratado é de aproximadamente 225 m³/dia.

$$Q_{\text{médio}} = (P \cdot q \cdot R) / 1000$$

$$Q_{\text{médio}} = (2811 \cdot 100 \cdot 0,8) / 1000$$

$$Q_{\text{médio}} = 224,88 \text{ m}^3/\text{dia}$$

5.1.2 Carga de DBO Afluentes

Adotou-se a equação presente no item 4.2.2 para cálculo da carga de DBO.

Conforme a norma técnica NBR 7229 (ABNT, 1993) utilizou-se o valor para a carga per capita de 54 g/(hab.dia). Quanto a população, utilizou-se o quantitativo conforme o item 5.1.1.

$$\text{Carga de DBO do esgoto bruto} = \text{Carga per capita} \cdot \text{População}$$

$$\text{Carga de DBO do esgoto bruto} = 54 \cdot 2811$$

$$\text{Carga de DBO do esgoto bruto} = 151.794 \text{ g/dia}$$

5.1.3 Área Superficial Requerida

Calculado a carga de DBO do esgoto bruto no item 5.1.2, foi adotado conforme a norma técnica NBR 7229 (ABNT, 1993) o valor de 15gDBO/(m².dia) para a taxa de aplicação orgânica superficial.

$$\text{Área superficial requerida} = \text{Carga de DBO} / \text{Taxa de aplicação orgânica superficial}$$

$$\text{Área superficial requerida} = 151.794 / 15$$

$$\text{Área superficial requerida} = 10.120 \text{ m}^2$$

5.1.4 Taxa de Aplicação Hidráulica

Define-se o valor subsequente para taxa de aplicação hidráulica, após o cálculo da vazão e área superficial, calculado nos itens 5.1.1 e 5.1.3 respectivamente.

$$\text{Taxa de aplicação hidráulica superficial resultante} = \text{Vazão}/\text{Área superficial}$$

$$\text{Taxa de aplicação hidráulica superficial resultante} = 224,88/10.120$$

$$\text{Taxa de aplicação hidráulica superficial resultante} = 0,02 \text{ m}^3/(\text{m}^2.\text{dia})$$

5.1.5 Dimensionamento do Número de Unidades em Paralelo

Baseando nos critérios relatados no item 4.2.5 e devido a área superficial requerida ser relativamente extensa, foi estimado uma área de 1800m² para cada unidade. Adotou-se 6 unidades em paralelo para realizar o tratamento do efluente.

$$\text{Número de unidades em paralelo} = \text{Área total}/\text{Área de cada unidade}$$

$$\text{Número de unidades em paralelo} = 10.120/1800$$

$$\text{Número de unidades em paralelo} = 5,67 \text{ unidades}$$

Com o objetivo de simplificar quanto aos cálculos e implantação do sistema, a variação das unidades depende da topografia local, mas como forma de esquematizar optou-se pela quantidade de 8 unidades, sendo 6 operando em paralelo e 2 como unidades reservas conforme citado no item 4.3.5. Necessitando de 6 unidades para operação do sistema, a área total da técnica *Wetland* para tratamento do efluente será de 10.800 m².

5.1.6 Determinação da Largura e Comprimento de cada Unidade

Conforme calculado a área e determinado o número de unidades em paralelo, para a determinação da relação comprimento/largura utilizou-se a metodologia apresentada no item 4.2.6 fundamentada por Sperling e Sezerino (2018).

Como forma de assegurar a eficácia na operação do sistema e também facilitar a

implantação do sistema, o comprimento e largura de cada unidade será de 60m x 30m, totalizando 1800 m².

5.1.7 Determinação da Profundidade Útil e Altura do Material Filtrante

No caso de *Wetlands* horizontais, adotou-se a profundidade útil do líquido de 0,8m e 0,1m altura total ocupada pelo meio filtrante conforme especificado nos itens 4.2.10 e 4.2.11.

5.1.8 Cálculo do Volume Útil do Líquido

Conforme calculado o comprimento e largura no item 5.1.6 e determinado a profundidade útil no item 5.1.7, fundamentou-se nos critérios relatados no item 4.2.7 para adotar o valor de 40% para a porosidade. Utilizou-se a equação 7 para determinar o volume útil do líquido.

$$\text{Volume útil do líquido} = \text{Comprimento} * \text{Largura} * \text{Profundidade Útil} * \text{Porosidade}$$

$$\text{Volume útil do líquido} = 60 * 30 * 0,8 * 0,4$$

$$\text{Volume útil do líquido} = 576 \text{ m}^3$$

5.1.9 Cálculo do Tempo de Detenção Hidráulica

Determinado o volume útil do líquido e a vazão média nos itens 5.1.8 e 5.1.1 respectivamente, foi utilizado a equação presente no item 4.2.8 para definir o tempo de detenção hidráulica demandado. É necessário cerca de 2,6 dias ou 61 horas de retenção do líquido no sistema *Wetland*.

$$\text{Tempo de detenção hidráulica} = \text{Volume útil do líquido} / \text{Vazão média}$$

$$\text{Tempo de detenção hidráulica} = 576 / 244,88$$

$$\text{Tempo de detenção hidráulica} = 2,6 \text{ dias.}$$

5.1.10 Cálculo da Quantidade de Mudanças

Utilizou-se para a densidade do plantio a quantidade de 5 mudas/m² conforme o recomendado no item 4.2.9. Conforme adotado no item 5.1.5 o número de 6 unidades para operação do sistema e 2 unidades como reserva, a tabela abaixo explicita a quantidade de mudas para atender a área superficial requerida.

Tabela 1- Quantitativo de mudas utilizadas nas unidades calculadas.

Unidades	Observação	Densidade	Área de cada Unidade	Total de Mudanças (Un)
6	Unidades em Operação	5 mudas/m ²	1800 m ²	54000
2	Unidades Reservas			18000

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

5.1.11 Tabela Resumo do Dimensionamento do Sistema

Conforme o resumo do dimensionamento exposto na tabela 2 e recomendações presentes no item 5.1, desenvolveu-se um anteprojeto com objetivo de exemplificar aspectos calculados, o mesmo encontra-se no apêndice do trabalho.

Tabela 2- Dados de dimensionamento do sistema *Wetland*.

Cálculos	Unidade	Valor
Vazão média	m ³ /dia	224,88
Carga per capita	g/(hab. dia)	54
Carga de DBO afluentes	g/dia	151794
Área superficial requerida	m ²	10119,6
Taxa de aplicação hidráulica	m ³ /(m ² .dia)	0,02
Número de unidades em paralelo (Operação)	Unidade	6
Largura de cada unidade	m	60

Comprimento de cada unidade	m	30
Profundidade útil e altura do material filtrante	m	0,8
Volume útil do líquido	m ³	576
TDH	dias	d
Altura do meio suporte (Hs)	m	0,9
Relação comprimento x largura	(2:1)	60:30m
Inclinação dos taludes	H:V	45°
Declive longitudinal	%	1

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

5.2 Diretrizes para Implantação do Sistema Junto ao SINCOV

Obrigados a elaborarem o PMSB até 31 de dezembro de 2017 segundo o Decreto Regulamentador nº. 8.629/2015, os municípios podem ficar recursos orçamentários da União. Segundo DEMARCHI et al. (2016), os principais entraves em relação a operacionalização junto ao SINCOV que municípios com menos de 50.000 habitantes enfrentam são:

- Áreas nas quais os recursos são disponibilizados - Várias áreas da administração política contém vínculo junto ao SINCOV, porém há Ministérios que só disponibilizam os recursos por meio de emendas parlamentares;
- Carência de estrutura financeira técnica e administrativa – Devido a falta de profissionais, o município procura obter primeiro a verba e depois apresentar projeto. Mesmo constatando todas as regularidades administrativas, pode inviabilizar a captação de recursos;
- Planejamento – Verifica-se a falta de domínio sobre o assunto, onde gestores desconhecem as oportunidades de apresentar a ficha orçamentária para viabilização do projeto. A comprovação da contrapartida torna-se um indicador de planejamento.

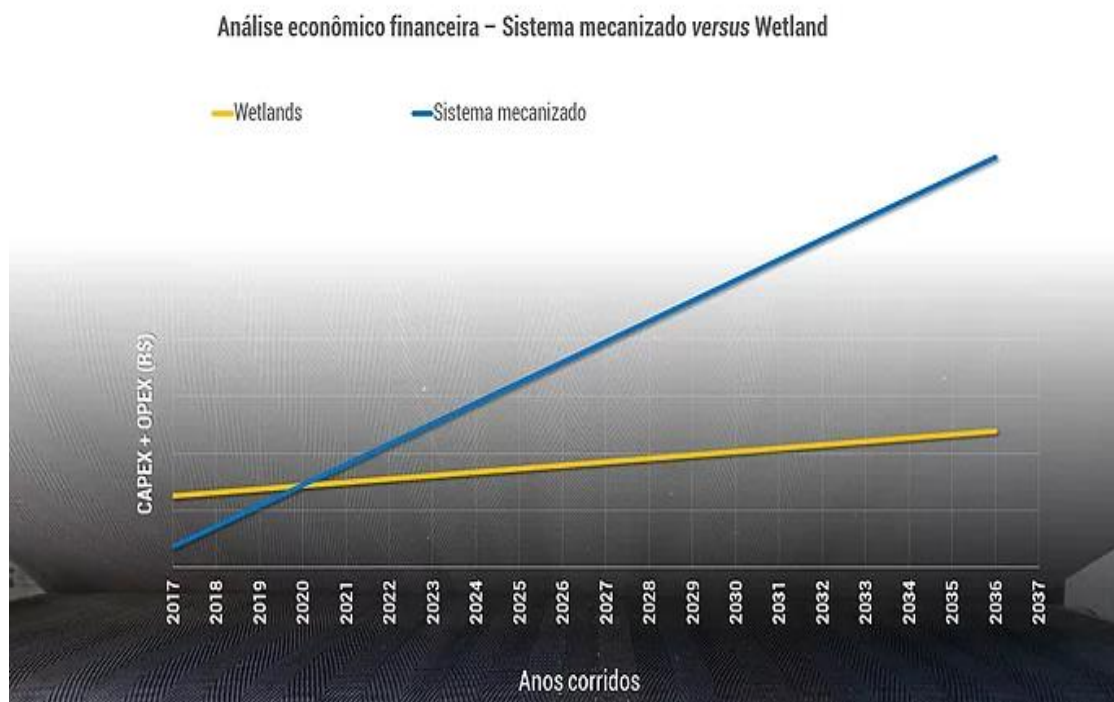
Elaborado o anteprojeto e diretrizes quanto a definição do sistema a ser implantado para tratamento do efluente no município de Rio dos Bois – TO, realizou-se uma análise financeira comparando a técnica *Wetland* com os sistemas tradicionais.

De acordo com a proporção do sistema, as particularidades do terreno e métodos de empregadas, os custos de implantação podem variar. Sendo grande parte dos custos com despesas operacionais como equipamentos, máquinas, mão de obra, manutenção, logística de transporte, reagentes químicos, e a destinação em aterros sanitários.

Quando comparado a tecnologia *Wetland* com os sistemas tradicionais, pode-se considerar que não apenas custos operacionais são eliminados, como também a produção do composto orgânico que pode gerar receita.

A figura 15 apresenta a análise comparativa dos sistemas que demonstra a viabilidade econômica financeira da implantação do sistema *Wetland*:

Figura 15- Análise econômico financeira - Sistema Mecanizado vs *Wetland*



Fonte: *Wetlands* Construídos (2017)

5.2.1 Indicadores para o PMSB

Esta etapa consiste na exposição de alguns de indicadores que o presente trabalho pode contribuir para elaboração do PMSB. Segundo LISBOA et al. (2013), os principais entraves declarados pelos gestores em relação a elaboração do PMSB são: eficiência técnica municipal e a limitação quanto à qualidade do profissional e indisponibilidade de recursos financeiros.

Com base na definição do sistema de tratamento de esgoto, gerou-se indicadores que possam servir como diretriz e complemento para elaboração do PMSB, abaixo destaca-se indicadores que possam ser implementados na fase inicial da elaboração do plano:

- Definição do sistema que irá operar no município – Adotou-se a técnica *Wetland* devido a alta eficiência com a simplicidade na operação e construção.
- Levantamento de informações básicas – Através de estudos e revisão bibliográfica, coletou-se informações pertinente ao município, quanto a população e se possui algum tipo de tratamento de efluente;
- Diagnósticos setoriais – Por tratar-se de um pequeno município e suas dificuldades financeiras, além de elevar a qualidade de vida populacional impactando diretamente na saúde pública, pode-se beneficiar com o emprego do sistema através da comercialização da biomassa vegetal e produção de água de reúso.

6 CONCLUSÃO

Esta pesquisa propôs a implantação da tecnologia *Wetland* para o processo de tratamento de esgoto e diretrizes para elaboração do PMSB do município de Rio dos Bois-TO. Escolhida não só pelas suas características e facilidades de acesso às informações, mas também por ter a equipe do Núcleo de Empreendedorismo e Inovação (NEI) do CEULP/ULBRA envolvidos no estudo, a cidade enquadra-se em algumas recomendações para implantação do sistema: dispor de ampla área e população até 15 mil habitantes.

A revisão bibliográfica realizada foi de suma importância para compreender e assimilar como ocorre o processo da técnica *Wetland* no tratamento de efluentes e os impactos positivos que essa temática pode proporcionar para os municípios e principalmente para população.

Diante da dificuldade de elaborar um anteprojeto de esgoto integrado com a gestão pública, pôde-se validar por meio da revisão bibliográfica, definição e elaboração da técnica para tratar o efluente. Tendo em vista a captação de recursos e elaboração do PMSB, a definição do sistema que irá operar pode auxiliar no cadastro junto ao SINCOV.

O objetivo principal desse trabalho foi propor a técnica *Wetland* para o tratamento de esgoto para a cidade de Rio dos Bois - TO. Pode-se dizer que os sistemas *Wetlands* surgem como alternativa acessível em pequenos municípios carentes de coleta e tratamento de esgoto, apresentando grandes vantagens onde a simplicidade, economia, não geração de lodo, ausência de odores, estabilidade e eficiência são fatores fundamentais. A elaboração do referido projeto demonstrou que a técnica adotada demanda a disponibilidade de grandes áreas para sua implantação.

Como proposto nos objetivos específicos, após as verificações realizadas nas revisões bibliográficas, realizou-se o levantamento de informações básicas e diagnósticos setoriais, resultando como forma de complementar o projeto de rede coletores de esgoto proposto para a cidade pelo integrante do NEI (Oliveira, 2018). Foi possível perceber a realidade do município que não possui coleta e tratamento de esgoto e o quanto este estudo pode contribuir apresentando conceitos relevantes.

O resultado desta pesquisa contribui de forma pragmática ao fornecer dados relevantes para elaboração do PMSB com diretrizes técnicas. Assim, subsidia as prefeituras para planejar a alocação de recursos e tornar possível a sua captação junto ao governo federal, via o SICONV.

7 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **12216:1992**: Projeto De Estação De Tratamento De Agua. Brasil, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **12 209**. Projeto De Estações De Tratamento De Esgoto Sanitário. Rio De Janeiro, 1992. 12 P.
- ABNT, NBR. 12209–Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. **Rio de Janeiro: ABNT**, 1992.
- ALEGRE, Helena et al. Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água. **Série Guias Técnicos, LNEC and IRAR**, 2004.
- ANDREAZZI, Marco Antonio Ratzsch; BARCELLOS, Christovam; HACON, Sandra. Velhos indicadores para novos problemas: a relação entre saneamento e saúde. **Revista Panamericana de Salud Publica**, v. 22, p. 211-217, 2007.
- ANDREOLI, Cleverson Vitorio et al. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. **Rio de Janeiro: RiMa, ABES**, 2001.
- ALMEIDA, SAB de. **Contribuição à aplicação de coeficientes de consumo em projetos de abastecimento de água e esgotamento sanitário em comunidades urbanas de baixa renda do Nordeste do Brasil: estudo de caso**. 2007. 70 f. 2007. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.
- BEGOSSO, Larissa. **Determinação de parâmetros de projeto e critérios para dimensionamento e configuração de Wetlands Construídos para o tratamento de água cinza**. 2009. Dissertação de Mestrado.
- BRASIL, Lei N. **11445**: Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Rio de Janeiro, 2007.
- BRITTO, A. L. **Tarifas sociais e justiça social no acesso aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Brasil**. In: CASTRO, E.; HELLER, L.; DA PIEDADE MORAIS, M. (Org.). **O Direito à Água como Política Pública: uma Exploração Teórica e Empírica**. Brasília: Ipea, 2015.
- BROSTEL, R. de C. **Formulação de modelo de avaliação de desempenho global de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETEs)**. 2002. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH. DM-56/02, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.
- CHARNOV, H. B.; MONTANA, J. Patrick. **Administração**. São Paulo: Saraiva, 1998.
- CONAMA. **Resolução n.º 430, de 13 de Maio de 2011 - Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes**. 2011.

DE OLIVEIRA, Misael Dieimes; HORIZONTE, Belo. Desenvolvimento, aplicação e avaliação de sistema de indicadores de desempenho de estações de tratamento de água. 2014.

DE PAOLI, Andre Cordeiro. **Análise de desempenho e comportamento de *Wetlands* horizontais de fluxo subsuperficial baseado em modelos hidráulicos e cinéticos**. 2010. Tese de Doutorado. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia UFMG. Belo Horizonte, MG. 159 f.

GALLO, Zildo et al. Captação de recursos pelo sistema siconv–avaliação dos entraves encontrados em municípios de pequeno porte. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 14, n. 1, p. 1067-1087, 2016.

GOMES, Marco Antônio Ferreira. **Água: sem ela seremos o planeta Marte de amanhã**. Embrapa Meio Ambiente, mar, 2011.

GUIMARÃES, Ester Feche. **Modelo inclusivo para a universalização do saneamento básico em áreas de vulnerabilidade social**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

HASTENREITER, TAINÁ ALVES. **ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE REUSO DE ÁGUA CINZA PARA FIM NÃO POTÁVEL EM EDIFICAÇÃO EMPRESARIAL**.

JULIANO, Ester Feche Guimarães de Arruda et al. **Racionalidade e saberes para a universalização do saneamento em áreas de vulnerabilidade social**. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 17, p. 3037-3046, 2012

KOEHLER, Juliana. **Mecanismos de concretização da igualdade e da não discriminação econômica na garantia do direito humano à água e ao esgotamento sanitário adequado: a utilização do Cadastro Único na ampliação do acesso aos servidores de saneamento básico junto à população de baixa renda-uma análise conceitual**. 2013. Tese de Doutorado.

LAUTENSCHLAGER, Sandro Rogério. **Modelagem do desempenho de *Wetlands* construídas**. 2001. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MELLO, Débora de et al. **Avaliação do uso de sistemas de *Wetlands* construídas no tratamento de esgotos sanitários**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

NBR, 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: 1993.

OLIVEIRA, Sonia Valle Walter Borges de. **Modelo para tomada de decisão na escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, Claudia Lucia Soares de. **Bambu: uma proposta para o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar no Distrito Federal**. 2011.

PAULA, Reuel Lopes de. **Metodologia para avaliação de desempenho operacional de estações de tratamento de esgotos**, utilizando métodos multiobjetivo e indicadores. 2013.

PEREIRA, Luciano Gomes. **Desenvolvimento de sistema de indicadores de desempenho operacional de estações convencionais de tratamento de água**. 2016.

RAMOS, Ricardo Augusto. **Avaliação da influência da operação de descarte de lodo no desempenho dos reatores UASB em estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal.** 2008.

REBOUÇAS, Aldo da C. **Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez.**

RIBEIRO, Júlia Werneck; ROOKE, Juliana Maria Scoralick. **Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública.** Monografia de Especialização em Análise Ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil. 36p, 2010.

ROSA, Cássio Dalla. **Projeto e dimensionamento de um sistema "Wetlands" Construído (WC) em residência unifamiliar no município de Chapecó-SC e comparativo de custos com as lagoas de estabilização.** 2014.

SCHNEIDER, Danieli Delello et al. **Indicadores para serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário voltados às populações vulneráveis.** Revista Brasileira de Ciências Ambientais, v. 17, p. 65-76, 2010.

SOUZA, Alexandre Batista Machado de. **Avaliação do desempenho de um Wetland construído na etapa de polimento final de uma estação compacta de tratamento de esgoto doméstico.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso.

TORRES, Haroldo da Gama; MARQUES, Eduardo. **Políticas sociais e território: uma abordagem metropolitana. São Paulo em perspectiva,** v. 18, n. 4, p. 28-38, 2004.

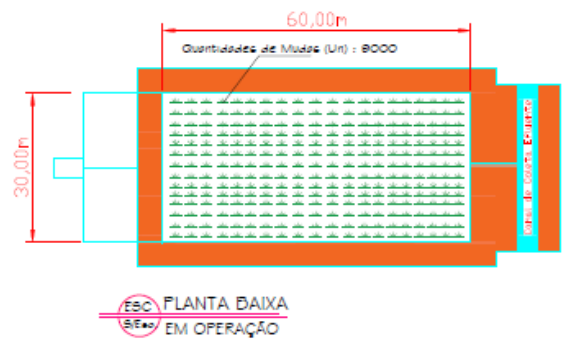
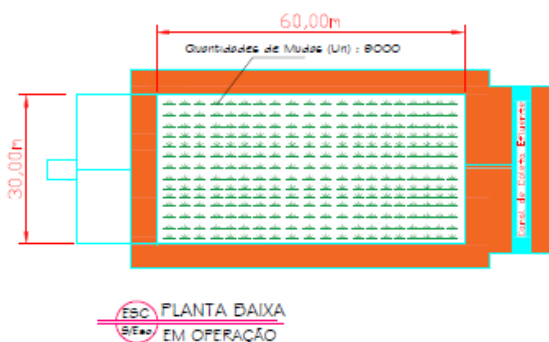
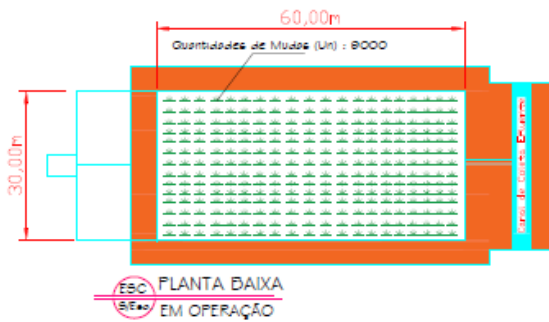
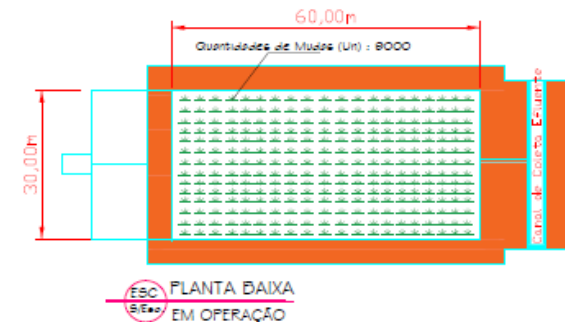
VALENTIM, Marcelus Alexander Acorinte et al. **Desempenho de leitos cultivados ("constructed Wetland") para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação.** 2003.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Editora UFMG, 1996.

WEBER, Conrado Folle; PRADO, Marcelo Real; VAN KAICK, Tamara Simone. **DIMENSIONAMENTO DE WETLANDS CONSTRUÍDAS EM SISTEMAS INDIVIDUAIS DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO. 2º Simpósio Brasileiro sobre Wetlands Construídos, Curitiba,** v. 1, p. 1, 2015.

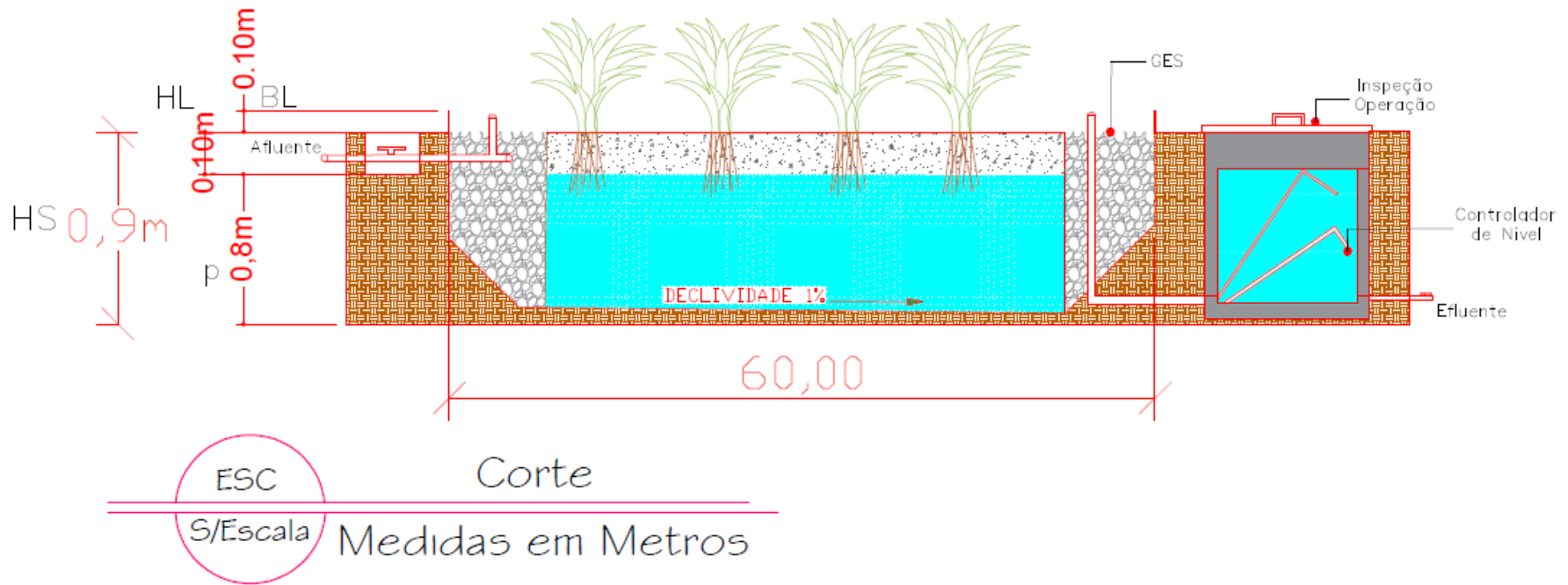
APÊNDICES

A- Planta Baixa



Fonte: Autor (2019)

B. Planta - Corte Esquemático



Fonte: Autor (2019)