

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

LUNA LILÁS HENRIQUES ILDEFONSO

**ANÁLISE PRELIMINAR DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE
SOLUÇÕES NÃO CONVENCIONAIS PARA RECUPERAÇÃO DA QUALIDADE
DAS ÁGUAS EM UM MANANCIAL DE VIÇOSA (MG)**

**VIÇOSA – MG
2020**

LUNA LILÁS HENRIQUES ILDEFONSO

**ANÁLISE PRELIMINAR DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE
SOLUÇÕES NÃO CONVENCIONAIS PARA RECUPERAÇÃO DA QUALIDADE
DAS ÁGUAS EM UM MANANCIAL DE VIÇOSA (MG)**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências, para obtenção do título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

Orientador: Alisson Carraro Borges.

**VIÇOSA – MG
2020**


LUNA LILÁS HENRIQUES ILDEFONSO

**ANÁLISE PRELIMINAR DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE
SOLUÇÕES NÃO CONVENCIONAIS PARA RECUPERAÇÃO DA QUALIDADE
DAS ÁGUAS EM UM MANANCIAL DE VIÇOSA (MG)**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências, para obtenção do título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

APROVADO: 04 de dezembro de 2020.

Assentimento:



Luna Lilás Henriques Ildefonso
Autora



Alisson Carraro Borges
Orientador

A todos que contribuíram nessa jornada,
em especial, aos meus pais, Elaine e Jefferson,
ao meu irmão Ícaro e à minha amiga Fernanda,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, gostaria de agradecer à força que nos rege e nos auxilia a enfrentar nossos desafios diários, por tudo até aqui.

Aos meus pais, Elaine e Jefferson, que são meus maiores exemplos de força e determinação nos estudos, por todos os ensinamentos, amor e apoio incondicional durante toda essa jornada.

Ao meu irmão Ícaro, por toda força, amor e companheirismo que mesmo longe fisicamente sempre me apoiou e esteve presente para o que eu precisasse.

Ao professor Alisson Carraro Borges, orientador desse trabalho e tutor do Programa de Educação Tutorial em Engenharia Agrícola e Ambiental (PET.EAA), pela oportunidade de fazer parte desse grupo tão especial e por todo apoio e ensinamentos dados.

Aos membros do PET.EAA pelo companheirismo, amizade e por contribuírem para o meu crescimento através das nossas atividades, projetos, viagens e integrações.

Aos membros da Agrijúnior, por todas as experiências adquiridas e momentos compartilhados com essa equipe incrível.

Ao Centro Acadêmico da EAA, que me ensinou muito sobre se autogerir, e onde tive a oportunidade de cooperar numa ótima gestão.

Ao Centro de Conhecimento em Bioenergia, minha primeira atividade extracurricular, que me ajudou muito no autodesenvolvimento profissional.

A todos os meus amigos da graduação e da vida. Em especial as minhas amigas antigas, Tacla e Adrinny, que mesmo de longe sempre me deram força para seguir meus sonhos. E, aquelas que foram minha família na graduação: Fernanda, Carine, Débora e Werônica. Obrigada por todo companheirismo e amor.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela oportunidade de realização do curso e do intercâmbio para Portugal, que foi a minha melhor experiência na graduação. E ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), por todas as experiências adquiridas durante minha jornada até aqui. Além de todas as amigas que o curso me proporcionou, em especial à Flora, Marina e ao grupo de formandos que faço parte.

Agradeço a todos demais familiares e amigos que de alguma maneira contribuíram durante minha graduação e me ajudaram a alcançar essa vitória, em especial ao meu avô

Henrique e ao meu tio Edil (*in memoriam*), que partiram dessa vida, mas que estarão sempre presentes no meu coração e fazem parte dessa conquista.

Por fim, quero agradecer a todos os professores, em especial ao Eduardo Antônio Marques e ao Fernando Baeta, que me auxiliaram nesse trabalho. Aos orientadores, em especial à Natália Renato, e profissionais da educação que tive em minha vida e que acrescentaram no meu conhecimento.

Vocês foram essenciais para a conclusão dessa etapa! Gratidão!

“Os dias prósperos não vêm por acaso;
nascem de muita fadiga e persistência.”

(Henry Ford)

RESUMO

A eutrofização é um problema global, que têm impacto expressivo na disponibilidade de água de boa qualidade, o que é essencial para o sustento do planeta. O aumento do consumo, do desperdício e da poluição das águas superficiais e subterrâneas pela falta de tratamento de águas residuárias de origem doméstica, industrial e agropecuária, estão relacionados diretamente ao processo de eutrofização. Esse fenômeno ocorre pelo incremento de nutrientes nos mananciais, contribuindo para proliferação de macrófitas e desenvolvimento de uma superpopulação de microrganismos decompositores, que consomem o oxigênio dissolvido na água, que se torna mais turva, gerando perdas econômicas, proliferação de doenças, aumentando os custos de tratamento e desvalorizando o local. Para restaurar a qualidade das águas é necessário minimizar a eutrofização, o que é feito por meio do controle do aporte de nutrientes. Em ambientes lênticos de água doce, como lagoas, o fósforo usualmente é o nutriente limitante. Desta forma, as intervenções mitigadoras da eutrofização se concentram na diminuição dos teores de fósforo. Algumas estratégias estão relacionadas à redução da entrada de nutrientes no manancial, mas, também, existem tecnologias que podem minimizar os teores de fósforo no próprio local. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi propor soluções mitigadoras não convencionais para minimizar o problema de eutrofização de um manancial, recuperando sua qualidade. Para isso, primeiro, foi feito um estudo do local, mapeando as fontes emissoras e levantando informações sobre as características dos efluentes destas, em que foi verificado um grande teor de fósforo. Posteriormente, foi feita uma revisão na literatura atual, na qual foram selecionadas quatro propostas de mitigação, são elas: o não lançamento dos efluentes no manancial, redirecionando-os para a rede pública; a construção de uma *wetland* diretamente no local; a implantação do sistema de filtração em margem na lagoa; e a aplicação de *Phoslock*. Como todas as alternativas possuem vantagens e desvantagens, foi feita uma análise de viabilidade, considerando resultados obtidos em trabalhos anteriores, da literatura estudada, e o orçamento de cada proposta. Constatou-se que a melhor solução para o problema seria o redirecionamento dos efluentes das fontes emissoras para a rede pública, pois apresentou-se como a proposta mais viável. Porém, as demais soluções também têm potencial de utilização, podendo ser adotadas de forma cumulativa.

Palavras-chave: bacia do ribeirão São Bartolomeu; eutrofização; fósforo; medidas de mitigação; nutrientes

ABSTRACT

The eutrophication process is a global problem, that has significant impact on good quality water availability, what is essential for the sustenance of the planet. The increase of consumption, of waste and pollution of surface and underground water for lack of treatment of domestic, industrial and agricultural livestock wastewater, are directly related to the eutrophication process. This phenomenon occurs by the increase of nutrients in the fountains, contributing to the growth of macrophytes and development of an overpopulation decomposing microorganisms, that consume the oxygen dissolved in the water, which becomes more turbid, leading to improvement, proliferation of diseases, increased treatment costs and devaluing the place. To restore water quality, it is necessary to minimize eutrophication, which is done through the control of nutrient input. In lentic freshwater environments, like ponds, phosphorus is usually the limiting nutrient. Thus, eutrophication mitigating interventions focus on reducing phosphorus levels. Some strategies are related to reducing the entry of nutrients into the source, but there are also technologies that can minimize phosphorus content on the place. Therefore, the objective of this undergraduate thesis was to propose unconventional mitigating solutions to minimize the problem of eutrophication in a source, recovering its quality. For that, first, a study was made of the location, mapping the emitting sources and gathering information on the characteristics of their effluents, in which a high phosphorus content was verified. Posteriorly, a review of the current literature was carried out, in which four mitigation proposals were select, are they: the non-discharge of effluents into the source, redirecting them to the public system; the construction of a wetland directly on place; the implantation of the Riverbank Filtration in the lagoon; and the use of Phoslock. All of which have advantages and disadvantages, then, a feasibility analysis was made, considering results obtained in previous works, of the studied literature, and the budget of each proposal. It was found that the best solution to the problem would be to redirect the effluents from the emitting sources to the public system, because it presented itself as the most viable proposal. However, the other solutions also have potential for use, and can be adopted cumulatively.

Keywords: eutrophication; mitigation measures; nutrients; phosphor; São Bartolomeu river basin

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 Soluções Não Convencionais Mitigadoras da Eutrofização	12
2.1.1 Emissão na Rede Pública	12
2.1.2 Wetlands.....	12
2.1.3 Filtração em Margem	14
2.1.4 Phoslock®	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Área de estudo.....	16
3.2 Caracterização do problema.....	16
3.3 Mapeamento dos setores da UFV e arredores.....	18
3.4 Caracterização das Fontes Emissoras.....	18
3.5 Busca de soluções mitigadoras.....	19
3.6 Análise de viabilidade	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 Mapeamento das Fontes Emissoras	20
4.2 Caracterização das Fontes Emissoras.....	21
4.3 Viabilidade das Soluções Mitigadoras	22
4.3.1 Emissão na rede pública.....	22
4.3.2 Wetlands.....	25
4.3.3 Filtração em margem (FM)	27
4.3.4 Phoslock®	29
5 CONCLUSÃO	31
6 REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

A urbanização acelerada, o aumento do desmatamento, a intensificação agrícola e a expansão do uso de fertilizantes, tem contribuído para tornar, cada vez mais, a eutrofização um problema global. E isso se deve, principalmente, a influência que esse fenômeno tem na disponibilidade de água de boa qualidade, o que é essencial para o sustento do planeta (PREISNER; NEVEROVA-DZIOPAK; KOWALEWSKI, 2020).

Atualmente, alguns países já não conseguem garantir a cota diária mínima de água por pessoa. Segundo um relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS) e do Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), no mundo inteiro, cerca de três em cada dez pessoas, 2,1 bilhões, não têm acesso a água potável em casa, e quando se trata de saneamento seguro, seis em cada dez pessoas não o possuem (ONU, 2017). Se essa tendência continuar, de acordo com o secretário-geral da ONU, António Guterres (2018) “Até 2050, pelo menos uma em cada quatro pessoas viverá em um país onde a falta de água potável será crônica ou recorrente”.

Mesmo países que possuem recursos hídricos abundantes, como o Brasil, que detém 12% das reservas de água doce do planeta, não estão fora da ameaça de uma crise hídrica. No Brasil, como em outros países de vasto território, a disponibilidade hídrica pode variar regionalmente (SILVA, A., 2019).

Além disso, as reservas de água potável estão diminuindo, devido ao progressivo aumento do consumo, do desperdício e da poluição das águas superficiais e subterrâneas, pela falta de tratamento de águas residuárias de origem doméstica, industrial e agropecuária (NAZARI-SHARABIAN; AHMAD; MOSES, 2018). Esses fatores estão relacionados diretamente ao processo de eutrofização, fenômeno que ocorre pelo incremento de nutrientes nos mananciais, principalmente fósforo e nitrogênio, contribuindo para a proliferação de macrófitas, crescimento de algas potencialmente tóxicas e o desenvolvimento de uma superpopulação de microrganismos decompositores, que consomem o oxigênio dissolvido na água. Tal fenômeno causa um estresse no ambiente pela falta de oxigênio, o que provoca a morte de organismos aeróbios (FUJIOKA et al., 2020).

A eutrofização pode ocorrer de forma natural, associada ao envelhecimento do ecossistema aquático, o que ocorre de forma muito lenta. No entanto, quando associada aos estressores não naturais, a eutrofização antrópica, o processo é acelerado (SILVA, K., 2019).

No corpo hídrico eutrofizado e impactado, passa a ser predominante a ocorrência de organismos anaeróbios, que são produtores de substâncias como o gás sulfídrico, que traz um

odor característico. A penetração de luz no manancial é prejudicada pela grande quantidade de algas, não permitindo que espécies vegetais submersas façam a fotossíntese em taxas apropriadas, acarretando na morte das mesmas. Com a decomposição das algas, o oxigênio é consumido ainda mais, a água se torna mais turva, a temperatura aumenta, contribuindo para a redução do valor estético do manancial (FUJIOKA et al., 2020; MORASHASHI, 2019).

Ademais, a perturbação das condições naturais das águas afeta, também, o bem-estar humano, gera perdas econômicas, proliferação de doenças, desvalorização do local e aumento nos custos do tratamento. Dessa forma, nota-se o quão urgente é a recuperação da qualidade dos corpos hídricos (SILVA, A., 2019).

Para restaurar a qualidade das águas é necessária a minimização do processo de eutrofização, o que é feito por meio do controle dos nutrientes. Nos trópicos, usualmente em ambientes lênticos de água doce, como lagoas, o fósforo é o nutriente limitante, que deve ser controlado, posto que para a realização da fotossíntese é necessária maior quantidade de nitrogênio do que fósforo (oito vezes mais). Dessa maneira, por mais que o nitrogênio seja encontrado em maior quantidade, ele também é mais consumido, em termos comparativos ao fósforo (MORASHASHI, 2019).

Considerando o exposto, as intervenções mitigadoras se concentram na diminuição dos teores de fósforo. Dentre tais ações, algumas estratégias estão relacionadas à redução da entrada de nutrientes no manancial. No entanto, também existem tecnologias que podem realizar a mitigação dos teores de fósforo direto no local, sendo estas, divididas em métodos físicos, químicos e biológicos (PAN et al., 2019). Cada procedimento possuirá suas vantagens e desvantagens, sendo que alguns deles, com tecnologias mais avançadas, são considerados complexos e de custo elevado (DUARTE; KRAUSE-JENSEN, 2018)

Diante da relevância do desenvolvimento de soluções alternativas para o problema de eutrofização, o objetivo do presente trabalho foi propor soluções mitigadoras não convencionais para minimizar o problema de eutrofização de um manancial, a fim de recuperar sua qualidade e, também, fazer uma análise de viabilidade técnica e econômica de cada proposta.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Soluções Não Convencionais Mitigadoras da Eutrofização

Muitos artigos destacam a relevância das técnicas alternativas para a redução dos efeitos negativos da eutrofização (DUARTE; KRAUSE-JENSEN, 2018; MORASHASHI, 2019; PAN et al., 2019; PREISNER; NEVEROVA-DZIOPAK; KOWALEWSKI, 2020), mostrando resultados muito positivos em relação à remoção de nutrientes.

Após a revisão da literatura selecionada para esse trabalho e análise da área de pesquisa, foram escolhidas algumas soluções mais aplicáveis à situação de estudo. Todas as soluções devem ser consideradas como opções, ou seja, não são excludentes e podem, inclusive, ser cumulativas.

2.1.1 Emissão na Rede Pública

Uma estratégia de gerenciamento simples de recuperação de qualidade da água é o não lançamento dos efluentes das fontes emissoras no manancial. Ao se tratar, especificamente, do caso de estudo, uma alternativa é o redirecionamento dessas fontes para a rede pública. Para atingir esse objetivo, as ferramentas básicas são os requisitos legais, que em Viçosa são responsabilidade do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa (SAAE). A regulamentação referente à prestação de serviços de esgoto, que orienta sobre os requisitos necessários para o lançamento de efluentes na rede de esgotamento de Viçosa é o Decreto nº 3823/2004.

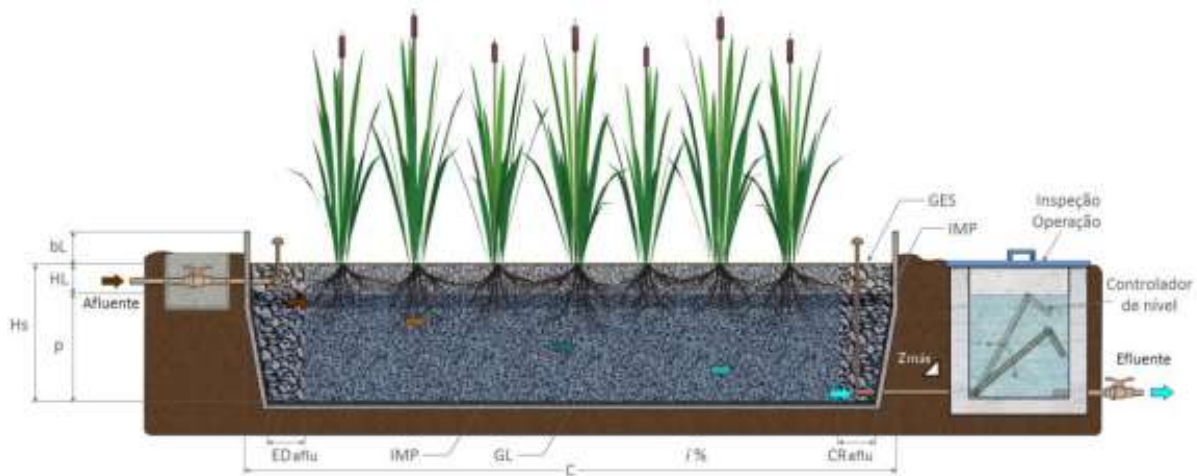
2.1.2 *Wetlands*

As *wetlands* são uma tecnologia biológica bem eficiente na restauração de ambientes lênticos de água doce. Também conhecidos como sistemas alagados construídos (SACs), consistem em um reservatório pouco profundo caracterizado pela presença de vegetação, macrófitas aquáticas, e de um material filtrante, geralmente areia, cascalho ou solo. No sistema, a água residuária flui pelo material poroso e é purificada passando por processos químicos, físicos e biológicos, no qual a vegetação atua absorvendo os nutrientes presentes e propiciando

o desenvolvimento de biofilmes que possibilitam a degradação de compostos orgânicos.(FLORES et al., 2019; GOMES et al., 2019; MATOS; MATOS, 2017).

Essa tecnologia possui como vantagem o baixo custo de implantação e manutenção, baixo consumo energético e a fácil operação (FLORES et al., 2019). Porém, possui a desvantagem da necessidade de manejo periódico da vegetação para evitar a proliferação descontrolada das plantas, o que é essencial para o êxito no controle do processo de eutrofização (MORASHASHI, 2019). Na Figura 1, tem-se um esquema representativo de uma *wetland* construída de escoamento horizontal subsuperficial.

Figura 1 – Esquema de *Wetland* construído



Legenda:

Hs – altura do meio suporte;	IMP – Impermeabilização (fundo e laterais);
p – profundidade útil do líquido;	GES – granulometria da zona de entrada e saída;
HL – distância vertical;	GL – granulometria do leito filtrante;
Hs – altura do meio suporte (substrato);	ED aflu – zona de entrada e distribuição do afluente;
bL – borda livre;	CR eflu – zona de coleta e retirada do efluente;
C – comprimento longitudinal;	i % - declividade longitudinal do fundo.
Zmáx – declividade máxima do talude interno;	

Fonte: von Sperling et al., 2018.

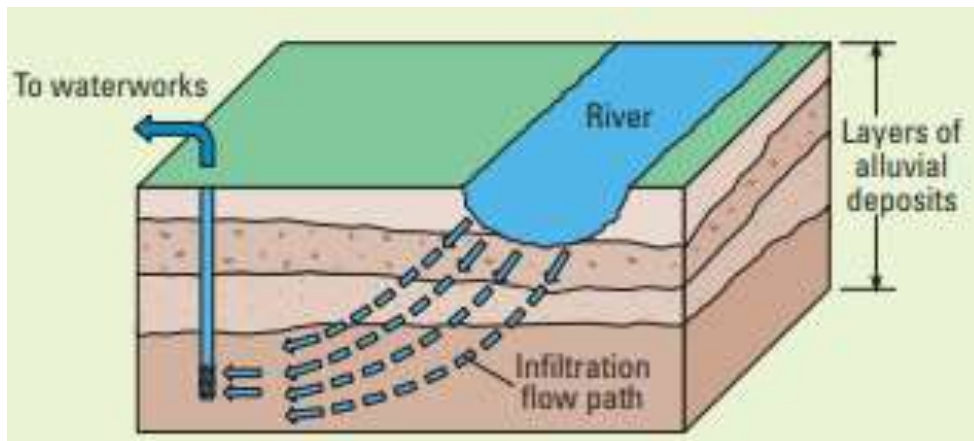
Quanto à plantas utilizadas, estudos mostram que a escolha das plantas é muito importante para a eficiência do sistema, além de acrescentar um valor estético ao local. A seleção da vegetação vai depender da profundidade das raízes, da altura da planta e do tipo de sistema (WEBER; PRADO; KAICK, 2014). Plantas comuns de serem utilizadas são: taboa, capim-elefante, capim vetiver, capim tifton, junco e copo de leite. Algumas destas, como o

capim tifton, pode ser comercializado pós corte, com o intuito de recuperar recursos. Existem outras plantas com potencial de utilização, desde que se adaptem as condições de manejo do sistema (VON SPERLING; SEZERINO, 2018).

2.1.3 Filtração em Margem

A Filtração em Margem (FM) ou *Riverbank Filtration (RBF)*, é um método eficiente e de baixo custo, se caracteriza pela locação de poços de bombeamento próximos ao reservatório e a utilização da própria margem e do fundo do reservatório como meio filtrante. A água bombeada é induzida até o poço passando pelo meio filtrante, onde ocorrem processos físicos, químicos e biológicos que resultam na remoção de poluentes, melhorando a qualidade do corpo hídrico (FREITAS et al., 2018). Na Figura 2, pode-se observar o funcionamento do método, onde é possível ver o fluxo de água saindo do manancial para o poço.

Figura 2 – Modelo do processo de Filtração em Margem



Fonte: Tufenkji et al., 2002.

Na Figura 2, também destacam-se as características do material filtrante mostrando as camadas do solo em questão, no qual pode-se perceber diferentes granulometrias de solo. E quando se trata do material, o cenário ideal para a concepção do sistema de FM são solos permeáveis, de material graúdo, que se conectam hidraulicamente com os materiais do leito.(FREITAS et al., 2018).

Essa técnica é bem difundida no mundo inteiro. Na Europa é muito utilizada no pré-tratamento de água de abastecimento. No Brasil, os estudos começaram em Santa Catarina,

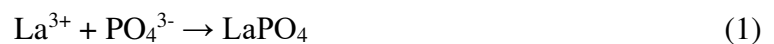
pelo pesquisador Sens (2006) e após isso, a técnica foi se espalhando pelas demais regiões do Brasil.

2.1.4 *Phoslock*®

O *Phoslock*® é um material geoengenharia constituído de argila de bentonita ionicamente modificada com lantânio (LMB). O material foi desenvolvido na Austrália pela *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation* (CSIRO) (DING et al., 2018).

O phoslock é uma tecnologia recente, datada da década de 1990, considerada bastante promissora. De acordo com Copetti et al., (2016), antes de ser comercializado, o LMB foi amplamente avaliado em laboratório, confirmando a eficácia deste na adsorção de fósforo.

A técnica atua na redução da carga de fósforo dissolvido na coluna d'água (mais especificamente fosfato PO_4^{3-}), inativando o fósforo reativo solúvel, e, também, quando utilizado como material de cobertura, evita a liberação de fósforo dos sedimentos. (ZAMPARAS et al., 2020) O lantânio (La^{3+}) é uma terra rara que possui uma elevada especificidade iônica por ortofosfato (PO_4^{3-}) (DELGADO et al., 2016). O procedimento de remoção de fósforo pelo *Phoslock*, acontece de acordo com a reação química (Equação 1), de estequiometria 1:1 (KASPRZYK et al., 2018):



Os estudos acerca da utilização de *Phoslock* tem-se concentrado em lagos e lagoas, visto que, nesses locais o fósforo solúvel é determinante na proliferação de algas. Além disso, nesses ambientes o LMB tem a capacidade de melhorar rapidamente a qualidade da água e se destaca, também, pelo seu baixo custo e complexidade de implantação (ZAMPARAS et al., 2020).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O projeto foi conduzido no município de Viçosa (MG), em um manancial do *campus* da Universidade Federal de Viçosa (UFV), conhecido como Lagoa da Reitoria ou Lagoa da Capela, representada na Figura 3, compreendida entre as coordenadas 20°45'50.25''S e 42°52'8.02''W, 20°45'38.93'' S e 45°52'17.47'' W.

A área possui aproximadamente 1.200 m de perímetro e uma área de 2,8 ha. O local possui uma grande importância estética para o *campus*, além de proteger a biodiversidade local e ambiental.

Figura 3 - Lagoa da Reitoria



Fonte: Autora.

3.2 Caracterização do problema

Entre os anos de 2014 e 2018, Viçosa passou por um período de estiagem prolongado, na qual as vazões do ribeirão São Bartolomeu, curso d'água que percorre o município, não

foram suficientes para a demanda requerida pela cidade e pela UFV. Na época, o SAAE, o qual faz a captação no manancial acima do de estudo, teve que misturar água das duas lagoas para atender a população.

A UFV, durante o período de estiagem, também, utilizou algumas vezes água do manancial de estudo para suprir sua demanda, porém, em determinados momentos não foi possível, pois a lagoa se encontrava com uma floração elevada de cianobactérias, o que inviabilizou o uso de recursos para o seu tratamento. Para amenizar os riscos relacionados a uma nova crise hídrica, a Lagoa da Reitoria é um local estratégico, com sua área de 2,8 ha, conforme já citado, e volume de água estimado entre 40.000 e 50.000 m³, poderia ajudar consideravelmente no abastecimento da cidade.

Na Figura 3, evidenciam-se os pontos de eutrofização no manancial, com presença de vegetação dentro da lagoa comprometendo a qualidade da água, também, nota-se um assoreamento da mesma, sendo essa foto tirada durante um período muito chuvoso, compreendido entre o final de 2019 e início de 2020, onde a qualidade da água foi afetada, também, pelos sedimentos carregados pela erosão. Esses fatores, além de comprometer a potabilidade da água, desvalorizam esteticamente o local e causam desconforto as pessoas que o frequentam, evidenciando a necessidade de mudança deste panorama.

Nas imagens coletadas de satélites pelo Google Earth (Figura 4) percebe-se uma floração de vegetação expressiva na lagoa, que está representada por uma mancha verde. Tal fenômeno acontece regularmente, sendo que a lagoa já chegou ao ponto de ficar quase toda tomada por macrófitas aquáticas. Na época, foi retirada a vegetação da lagoa, porém tal intervenção não resolveu o problema de eutrofização, sendo que logo após as plantas voltaram a colonizar o sistema.

Figura 4 – Imagens de satélite da localização da Lagoa da Reitoria



Fonte: Google Earth, 2019.

3.3 Mapeamento dos setores da UFV e arredores

Sabe-se que efluentes tratados e não tratados de alguns setores da UFV, como as unidades de produção animal do curso de Zootecnia, e arredores são despejados na lagoa após algum tipo de tratamento dos resíduos, porém, nota-se que tais soluções não são eficientes no que se refere à remoção de nutrientes. Consequentemente, mesmo com a instalação de algumas estações de tratamento de efluentes (ETEs), o processo de eutrofização persiste.

Assim, primeiramente foi realizado um diagnóstico para detectar e mapear os setores que lançam seus efluentes na lagoa, verificando possíveis pontos de lançamento de efluentes clandestinos.

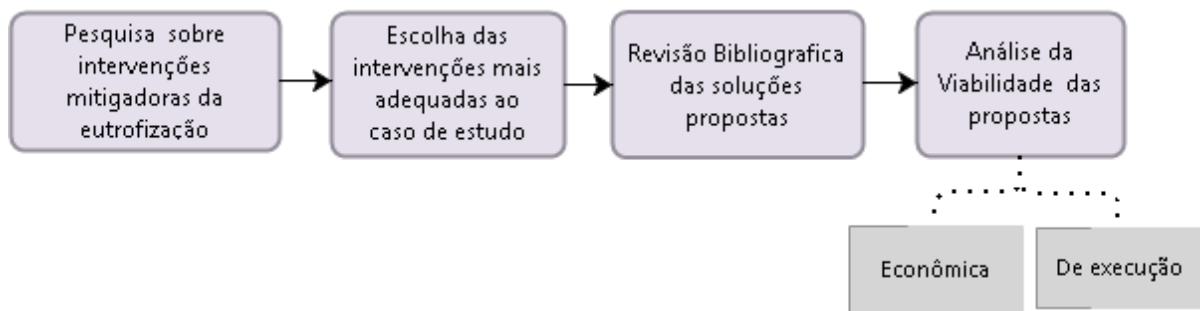
3.4 Caracterização das Fontes Emissoras

Para a caracterização das fontes emissoras foram coletadas informações em literatura, referentes às características dos efluentes, para ter-se uma estimativa dos teores de nutrientes presentes nestes. O monitoramento *in loco* e consequente análise nos laboratórios da UFV não foi possível devido à pandemia vivenciada na ocasião da elaboração deste trabalho.

3.5 Busca de soluções mitigadoras

Em pesquisa na literatura foram encontradas algumas soluções prováveis para a mitigação do problema de eutrofização do manancial. *A priori*, as possibilidades foram embasadas no não lançamento dos efluentes no local e na utilização de tecnologias alternativas de mitigação dos teores do fósforo no próprio local. Na Figura 5, encontra-se um fluxograma com os procedimentos que foram executados na estruturação das propostas de mitigação.

Figura 5 – Fluxograma da estruturação das propostas de mitigação



Fonte: Autora.

3.6 Análise de viabilidade

Após o levantamento das propostas de mitigação, foi realizada a avaliação individual, considerando sua eficiência e a viabilidade técnico-econômica, avaliando resultados disponíveis em publicações técnicas e acadêmicas. As estimativas orçamentárias foram elaboradas por meio do anuário da construção, sites e contato com empresas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Mapeamento das Fontes Emissoras

Na Figura 6, estão mapeadas as fontes pontuais de emissão de efluentes que aportam na Lagoa da Reitoria. Essas fontes são setores da UFV e arredores que fazem algum tipo de tratamento nos seus resíduos, mas posteriormente lançam, ainda que indiretamente, carga residual de nutrientes não removidos nos sistemas de tratamento, acarretando no processo de eutrofização da mesma. Os setores utilizados nesta avaliação são: Unidade de Ensino Pesquisa e Extensão (UEPE) Suinocultura I, UEPE Melhoramento de Suínos II, Laticínios Viçosa e UEPE Bovinocultura de Leite. Visto que o presente trabalho foi realizado de forma remota, entende-se que seja necessária uma avaliação mais criteriosa dos usos dos solos e eventuais pontos de lançamentos.

Figura 6 – Mapeamento fontes de emissão pontuais



Fonte: Google Earth, 2020.

4.2 Caracterização das Fontes Emissoras

Na Tabela 1, estão expressos dados de análises de teores de fósforo, retirados do artigo de Silva e Mesquita, (2019), no qual foi feito um monitoramento da qualidade da água do reservatório de estudo. Neste, foram identificadas as mesmas fontes emissoras já descritas, e foram feitas análises dos teores de nutrientes presentes em cada água residual vinda destas fontes.

Tabela 1 – Teores de fósforo das fontes emissoras

Amostra	Fósforo Total (mg L⁻¹)	Fósforo Disponível (mg L⁻¹)
Suinocultura I	23,19 ± 0,67	19,67 ± 0,06
Suinocultura II	41,99 ± 0,22	35,85 ± 1,75
Bovinocultura	120,77 ± 1,71	30,80 ± 1,08
Laticínio	0,68 ± 0,06	0,38 ± 0,03

Fonte: Silva e Mesquita, 2019.

No presente estudo, foi considerado o fósforo como o elemento limitante do processo de eutrofização, dessa forma, foram considerados apenas os resultados referentes a este nutriente apresentados por Silva e Mesquita, (2019). Na Tabela 1 verificam-se teores elevados de fósforo para as amostras, com exceção a do Laticínio, que apresentou valores de 0,68 mg/L e 0,38 mg/L, menores que o relatado em outras pesquisas, como em Matos (2017), de 10 mg/L.

Para as amostras das granjas de suinocultura os valores extrapolaram o relatado na literatura de 0,03 mg/L e 2,5 mg/L (MATOS, 2017). Foram obtidos valores médios de 23,19 mg/L de fósforo total e 19,47 mg/L de disponível para a Suinocultura I, e de 41,99 mg/L e 35,85 mg/L para a Suinocultura II. Tais valores estão bem acima do ideal, com boa parte do fósforo disponível, ou seja, contribuindo para o crescimento de algas.

Os maiores valores de fósforo foram encontrados na amostra da Bovinocultura, que apresentou valores de 120 mg/L de fósforo total e de 30,80 mg/L para o fósforo disponível. De acordo com Matos e Matos (2017), os valores esperados estão entre 0,3 mg/L e 1 mg/L. Portanto, o tratamento desse efluente está sendo ineficiente para a remoção de nutrientes, contribuindo com o processo de eutrofização da lagoa.

No diagnóstico preliminar realizado por Silva e Mesquita, (2019), verificou-se valores de cargas diárias de fósforo total da ordem de 4,20 kg, sendo a Bovinocultura responsável por 93% deste valor. Em relação ao fósforo disponível, usado mais prontamente pelos responsáveis

pela eutrofização, a previsão de carga diária foi de 0,27 kg, dos quais 58% seriam oriundos da Suinocultura II.

Conforme citado, algumas fontes não foram consideradas neste trabalho, sendo uma importante o Abatedouro recém-reformado. Ressalta-se que para um projeto executivo, devem ser consideradas amostragens mais atualizadas, com a chancela da UFV. Ademais, os valores de concentração são insuficientes para uma conclusão, sendo que os mesmos devem ser multiplicados pelos valores reais de vazão de efluentes para a obtenção das cargas de fósforo realmente aportadas na lagoa.

4.3 Viabilidade das Soluções Mitigadoras

4.3.1 Emissão na rede pública

Na análise de viabilidade do lançamento em rede pública, primeiro, foi feito um estudo da legislação vigente. No Decreto nº 3823/2004, da SAAE, está exposto, no artigo 6º, que toda construção de sistemas públicos tem que ser previamente aprovada pela Autarquia. No mesmo dispositivo, salienta-se a necessidade de se ter um estudo da estimativa dos efeitos da contribuição do volume de esgoto que pretende-se integrar a rede. Ademais no capítulo 6, dispõe mais detalhadamente sobre os requisitos do lançamento dos efluentes que não podem ser lançados “in natura”, que é o caso das fontes de emissão consideradas, ressaltando a necessidade de um tratamento preliminar antes do despejo na rede.

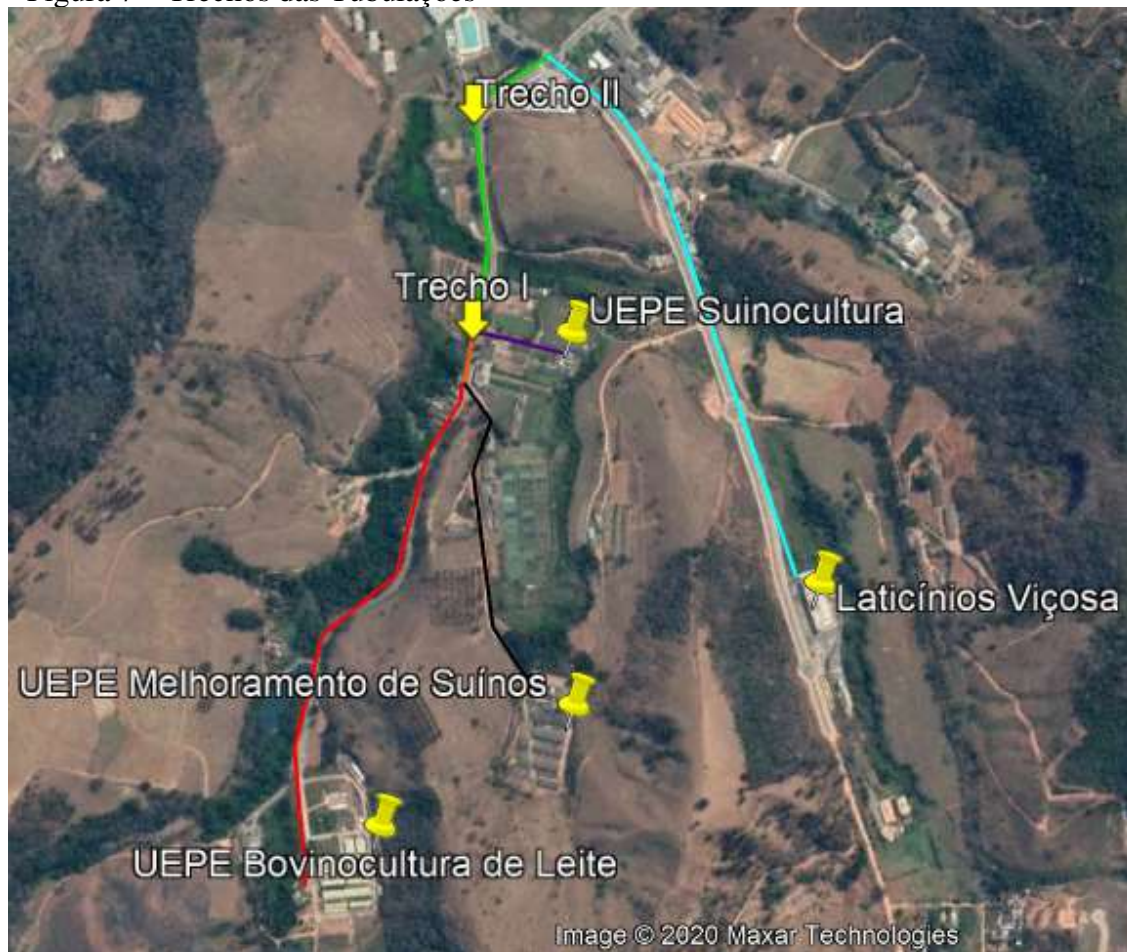
Desta forma, foram levantadas as informações dispostas na Tabela 2, a qual mostra dados de vazões de cada gerador de efluentes, reportados por Silva e Mesquita (2019), e também, valores de comprimento da tubulação, demonstrado na Figura 7.

Tabela 2 – Dimensionamento da tubulação

Trecho	Vazão (m³ d⁻¹)	Comprimento tubulação (m)
Suinocultura	4,37	160,0
Melhoramento de suínos	4,34	579,0
Bovinocultura de Leite	32,4	950,0
Laticínio	8,00	1015,0
Trecho I	129,60	93,0
Trecho II	129,60	548,0

Fonte: Autora.

Figura 7 – Trechos das Tubulações



Fonte: Google Earth, 2019.

De acordo com a NBR 9649 (1986), é recomendado que a menor vazão em cada trecho seja 1,5 L/s e o diâmetro mínimo de 100 mm. Além da tubulação dos trechos de cada fonte emissora, foram considerados dois trechos onde as tubulações se interceptam, o trecho I, cor laranja, onde o efluente da Bovinocultura encontra o Melhoramento de Suínos e o trecho II, cor verde, onde é acrescido o efluente da Suinocultura. Como a vazão somada não atinge o limite de 1,5 L/s ($129,6 \text{ m}^3/\text{d}$) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986), foi adotada essa vazão nos trechos, para fins de dimensionamento.

Além disso, para evitar o efeito de abrasão sobre os tubos a velocidade máxima permitida deve ser de 5 m/s (SABESP, 2020), o que foi verificado para 2 diâmetros (o mais comum, de 150 mm e o de valor mínimo da norma, de 100 mm) considerado, resultados na Tabela 3, onde a velocidade de cada trecho foi calculada pela equação da continuidade, equação 2.

$$Q = V \times A \quad (2)$$

Em que,

Q é vazão em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$;

V é velocidade em m s^{-1} ; e

A é área em m^2 .

Tabela 3 – Verificação da velocidade máxima de 5 m/s, considerando-se vazões de 1,5 L/s

Trecho	Área (m^2) 100 mm	Área (m^2) 150 mm	Velocidade para Φ 100 mm (m s^{-1})	Velocidade para Φ 150 mm (m s^{-1})
Suínocultura	0,0079	0,0177	0,0064	0,0029
Melhoramento de Suínos	0,0079	0,0177	0,0064	0,0028
Bovinocultura de Leite	0,0079	0,0177	0,0478	0,0212
Laticínio	0,0079	0,0177	0,0118	0,0052
Trecho I	0,0079	0,0177	0,1911	0,0849
Trecho II	0,0079	0,0177	0,1911	0,0849

Fonte: Autora.

Na Tabela 4, estão apresentados os custos de implantação do sistema de lançamento na rede pública. O comprimento total de tubulação foi de 2797 m. Para a estimativa de preços foi utilizado o Sistema Nacional de Pesquisas de Custo e Índices da Construção Civil (2020).

O volume da vala, tabela 4, foi calculado de acordo com a NBR 14486 (2000), considerando uma altura de 1m da instalação da rede e a largura de 0,6 m. Para os volumes de concreto e asfalto, foi considerado uma espessura de 6 cm e a largura das valas.

Tabela 4 – Orçamento Lançamento na Rede pública

Item	Ud	Quant.	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
1. Requerimento de ligação de esgoto ⁽¹⁾	ud	1,0	272,00	272,00
2. Tubulação de PVC de 150 mm (3m)	m	2797,0	43,93	122.872,21
3. Caixa de inspeção	ud	120,0	168,39	20.206,80
4. Valas	m^3	1378,2	9,46	13.037,77
5. Concreto	m^3	36,46	77,19	2.814,66
6. Asfalto	m^3	15,34	999,62	15.333,41
Total				174.536,85

⁽¹⁾ Custos de solicitação de ligação da rede de acordo com Decreto n° 3823/2004.

Fonte: Autora.

Analisando o orçamento, Tabela 4, nota-se que a maior parte dos custos são em relação a tubulação de PVC, 70% do valor total. Como a UFV possui uma usina de pré-moldados, há possibilidade de trocar esse material por manilhas de concreto, atendendo os requisitos da NBR 8890 (2020), para utilizar na ligação da rede. Dessa forma, é interessante fazer uma avaliação dos custos, para analisar se haveria redução do valor do material.

Outra observação importante é que o orçamento apresentado na Tabela 4 prevê o uso de uma tubulação de 150 mm de diâmetro. Considerando-se: (a) que a vazão real é ínfima, se comparada ao valor de 1,5 L/s previsto na norma, (b) que a UFV irá implantar um sistema tipo *Compost Barn* diminuindo ou acabando com a contribuição da Bovinocultura, (c) que a rede do trecho da Bovinocultura deve continuar a ser prevista, pois há um novo empreendimento (Abatedouro) e (d) que o trecho “Laticínios” é relacionado a um empreendimento que não é de propriedade da UFV, chega-se à conclusão de que um com o uso de uma tubulação de menor diâmetro um investimento de **R\$ 50.000,00** poderia ser suficiente para a interligação proposta.

A implementação da rede de lançamento passaria por acordos entre a UFV e o SAAE. A Universidade já possui acordos com a autarquia, pois dividem mananciais e a captação de água do SAAE é feita numa das represas construídas pela UFV. Esse acordo beneficiaria ambos os lados, o SAAE já possui rede de esgoto que passa por dentro da UFV e dessa forma, só seria acrescentada uma parte a rede já existente.

O volume de efluentes é inexpressivo em relação aos da cidade, que de acordo com o SAAE é cerca de 160 L s^{-1} , e, além disso, a necessidade de manutenção desta proposta seria quase nula.

4.3.2 *Wetlands*

Nas pesquisas publicadas sobre wetlands construídas, foram encontrados muitos casos de sucesso na utilização das mesmas, sendo que, a maior parte teve um ótimo desempenho na redução do teor de nutrientes (FLORES et al., 2019; GOMES et al., 2019; GONÇALVES; FERNANDES, 2020; MORASHASHI, 2019). Como destaque, cita-se o trabalho de Mlih et al. (2020), onde foi utilizada como meio suporte a argila expandida (LECA), que se mostrou muito eficiente na remoção de fósforo e dessa forma também foi escolhida no presente trabalho.

Na Figura 8 está destacado o ponto onde desaguam as águas residuárias tratadas na lagoa. Em relação ao local onde pode-se construir o sistema, um fator muito positivo é a diversidades de lugares, como pequenos vales, brejos, margens de rios, lagoas e lagos, entre

outros. (GONÇALVES; FERNANDES, 2020) Tendo visto isto, foi selecionada a área destacada em verde (Figura 8), para o projeto de uma hipotética *wetland* construída, próxima a entrada da própria na lagoa. A área exposta no mapa é de 300 m².

Figura 8 – Ponto de lançamento dos efluentes



Fonte: Google Earth, 2020.

Ao se tratar do investimento necessário para implantação de *wetlands*, uma possibilidade de gerar retorno econômico é utilização de plantas que após corte possam ser comercializadas, como o capim-tifton ou capim-elefante. Sobre este último, ressalta-se que sua tonelada fenada pode ser vendida por em torno de R\$ 250, informação coletado de um vendedor, e que a massa a ser cortada poderia ser usada nos setores do Departamento de Zootecnia. Usualmente são plantados cerca de 4 propágulos por m² (VON SPERLING; SEZERINO, 2018), como a área é de 300 m² deve-se adquirir 1200 mudas de capim elefante.

Para estimar os custos com argila expandida, foram utilizados dados retirados do artigo de Campos et al. (2019), onde para 0,16 m² foi utilizado um volume de 1,8 litros de argila e obteve uma boa eficiência. Para a área de 300 m² seria necessário um volume de 3375 L.O orçamento para a instalação da *wetland* na lagoa está demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Orçamento de Implementação do sistema *wetland*

Item	Ud	Quant.	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)	Fonte
1 Mudas capim elefante	ud	1200	1,0	1200,00	MF Rural
2 Argila expandida (22kg)	ud	53	27,90	1478,70	Obramax
Total				2.678,70	

Fonte: Autora.

De acordo com Silva e Mesquita (2019), o aporte de fósforo disponível na lagoa é de 0,27 kg d⁻¹, 98,55 kg ano⁻¹, e em termos de concentração é de 0,31 mg L⁻¹. O capim-elefante possui extração média de fósforo de 80 kg ha⁻¹ ano⁻¹. (MARQUES et al., 2020)

Então, considerando que a *wetland* será alocada numa área de 0,03 ha, Figura 8, a extração de fósforo pelo capim elefante seria somente de 2,4 kg ano⁻¹. Porém, segundo Mlih et al. (2020), a adsorção de fósforo da argila expandida pode chegar a 12 g kg⁻¹, em cada saco de 50 litros tem 22 kg de argila, dessa forma sua extração seria de 14 kg. Assim, a junção do capim e da argila estaria extraíndo hipoteticamente 14,4 kg de fósforo.

Em relação aos custos com o capim elefante, sua massa seca possui rendimento de aproximadamente 30 t ha⁻¹ ano⁻¹. (MARQUES et al., 2020) Dessa forma, na área selecionada, pode-se obter 900 kg de capim elefante ao ano.

Outra opção para a área é o cultivo de plantas ornamentais, contribuindo para o paisagismo do local e o tornando atrativo a visitantes, atuando como um *marketing* verde para a Universidade, além de, gerar bem estar aos que o frequentam diariamente.

Assim como no tópico anterior, ressalta-se que esta é uma estimativa preliminar. Os mecanismos de adsorção e de dessorção de fósforo pela argila expandida devem ser mais bem estudados, do ponto de vista técnico, mas também econômico. O carreamento de sólidos oriundos da montante do ponto em questão já fazem que, de fato, a região inicial marcada seja uma *wetland*. Assim, custos relacionados à contenção, separação da área, alvenaria e concreto, dentre outros, não foram considerados.

4.3.3 Filtração em margem (FM)

Analisando trabalhos anteriores, descobriu-se que o sistema de filtração em margem não é novidade para a UFV. Rocha (2015) foi pioneira na implantação do sistema de FM no campus de Viçosa, as margens da lagoa próxima a captação de água da Estação de Tratamento que

abastece a Universidade. Em seu trabalho, os resultados demonstraram que a água extraída de dentro do poço apresentou melhor qualidade que a água superficial da lagoa. Posteriormente, Faria (2017), realizou um trabalho no mesmo local, onde também obteve resultados positivos na redução de poluentes da água.

As pesquisas de Santos et al. (2014) e Sens (2006), realizadas em outras regiões do Brasil, mostram que o sistema de FM consegue eliminar bastante os teores de cianobactérias dos corpos hídricos, chegando a 99% de remoção (SANTOS et al., 2014). O que evidencia a eficiência do sistema na recuperação da qualidade da água.

No trabalho de Rocha (2015), foi feita uma sondagem do reservatório, situado nas proximidades da área de estudo, na qual foi possível chegar a uma profundidade de 25 m alcançando o limite impenetrável, que foi considerada a profundidade máxima para a implantação do poço. Como trata-se de uma área similar a deste trabalho, foram considerada as mesmas proporções do poço para a estimativas de custos, profundidade de 25 m, diâmetro de 4", 101,6 mm, e vazão máxima de 9 m³/h, (2,5 L/s), o que corresponde a 25% da demanda da UFV, de 10 L/s (MEDEIROS, 2020).

Na Tabela 6, está apresentado o orçamento do sistema de FM, foram considerados os custos com escavação do poço, com a tubulação de PVC geomecânico, com a bomba monofásica submersa da marca Ebara modelo 4BPS8i-5 de 1,5 cv, 110,32 W (Ebara, 2020) e com análises químicas da água.

Tabela 6 – Orçamento para implementação do sistema de Filtração em Margem

Item	Ud	Quant.	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)	Fonte
1.Escavação	m	25	500,00	12500,00	Sul América Engenharia
2.Tubulação de PVC geomecânico (4m)	ud	6	180,00	1080,00	Tubos Líder
3.Bomba Ebara 4BPS8i-5	ud	1	1690,70	1690,70	Mérito Comercial
4.Quadro de Força	ud	1	45,51	45,51	SINAP
5.Licença Ambiental	ud	1	500,00	500,00	Sul América Engenharia
Total				15.816,21	

Fonte: Autora.

Pela Tabela 6, nota-se que o preço de implantação do sistema de FM, seria baixo em relação aos outros sistemas, sendo então viável economicamente. E, ainda, Rocha (2015), relata que durante um período de estiagem prolongada, a água do poço foi fundamental para suprir a falta de água na área experimental de irrigação da UFV, mostrando o potencial de uso desta para amenizar a falta de água no período de seca.

4.3.4 Phoslock®

Em diversos artigos, foram encontrados ótimos resultados relacionados a eficiência do *Phoslock* em ambientes lênticos (BISHOP; RICHARDSON, 2018; DELGADO et al., 2016; KASPRZYK et al., 2018; ZAMPARAS et al., 2020).

Em análises de laboratório os resultados obtidos para remoção de fósforo em águas residuais, com concentração de fósforo entre 1130 a 5320 $\mu\text{g L}^{-1}$, foi superior a 99% (COPETTI et al., 2016). É sabido que em condições reais a eficiência tende a ser menor, porém, os resultados de remoção de fósforo tem sido muitos satisfatórios, e no trabalho de Kasprzyk et al. (2018), obteve uma remoção de 2,09 mg / g.

A implementação do método no manancial de estudo, seria relativamente bem fácil em relação as outras tecnologias analisadas, visto que, consistiria na aquisição do produto, *Phoslock*, e a aplicação através de uma embarcação, como barco a motor. O preço do *Phoslock*, cotado com a empresa *Hydro Science* é de R\$ 25/kg, sendo que é necessário 100 g do produto para cada 1 g de fósforo, informações da empresa. Como a estimativa feita do aporte de fósforo na lagoa é de 98,55 kg/ano, foi possível fazer uma estimativa de preço, expresso na Tabela 6.

Tabela 6 – Orçamento para implementação do sistema *Phoslock*

Item	Ud	Quant.	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
1 <i>Phoslock</i>	kg	9.855	25,00	246.375,00
2 Barco a motor ⁽¹⁾	ud	1	5.175,00	5.175,00
Total				251.550,00

⁽¹⁾ Preço retirado do site Martinelli pesca e náutica. Produto já adquirido pela a UFV.

Fonte: A autora.

Como pode ser observado na Tabela 6, o custo com a implementação do *Phoslock* não é baixo quando comparado aos outros sistemas propostos, porém, o material possui uma

eficiência elevada de adsorção de fósforo e seu uso é simples, como já dito anteriormente. Mas ressalta-se que para uma análise mais precisa da viabilidade dessa solução são necessárias informações acerca da manutenção desta proposta.

5 CONCLUSÃO

Conforme verificado, os setores mapeados, contribuem para o processo de eutrofização da Lagoa da Reitoria. Sendo que destes, a UEPE Bovinocultura de Leite é a maior fonte de fósforo, com carga de $120,77 \text{ mg L}^{-1}$ de fósforo total e de $30,80 \text{ mg/L}$ de fósforo disponível. Juntas, as fontes emissoras totalizam um aporte de $0,27 \text{ kgd}^{-1}$ de fósforo disponível na lagoa, em uma concentração de $0,31 \text{ mg L}^{-1}$, fazendo com que o corpo hídrico não se enquadre nem na classe III, segundo a Normativa COPAM/CERH n° 01/08 (2008), indicando o quanto a lagoa está deteriorada.

A respeito das soluções mitigadoras, a medida relacionada ao não lançamento no manancial, apresentou uma execução bem simples já que dentro da universidade há rede pública de esgotos próxima aos pontos de lançamento de efluentes tratados. E em relação ao custo, há possibilidade de redução dos mesmos, para isso deve ser avaliado o material mais viável economicamente, PVC ou manilhas de concreto, e, também, procurar o SAAE para propor acordos.

As demais propostas, apresentaram vantagens e desvantagens. Em relação ao custo a utilização de *phoslock* apresentou custo mais elevado perante as outras, porém seria o método de mais fácil execução e bem eficiente. A construção da *wetland* teve o menor custo, mas não mostrou-se tão eficiente, porém, poderia ser avaliada a aquisição de uma quantidade maior de argila ou de capim elefante, aumentando a eficiência. A metodologia de filtração em margem exibiu um preço baixo de implantação, e, como já é utilizado na UFV, apresentando resultados positivos, é uma opção bem viável.

A Emissão na rede pública, mostrou ser a solução mais eficiente e viável, pois as águas residuais não seriam lançadas na lagoa e conseqüentemente não haveria o aporte de fósforo destas na mesma. O volume de efluentes seria inexpressivo em relação aos da cidade, e, além disso, a necessidade de manutenção desta proposta seria quase nula. Todas as soluções apresentaram potencial de utilização com algumas adaptações, assim, ressalta-se que as propostas não são excludentes, e, portanto, podem ser adotadas de forma cumulativa.

Por fim, para um projeto definitivo devem ser consideradas amostragens mais atualizadas sobre as concentrações de fósforo na lagoa, e, dessa forma, fazer o dimensionamento e orçamento exato da medida mitigadora adotada.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. **Abnt**, p. 7, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14486: Sistemas enterrados para condução de esgoto sanitário - Projeto de redes coletoras com tubos de PVC. . 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8890: Tubo de concreto de seção circular para água pluvial e esgoto sanitário — Requisitos e métodos de ensaios. . 2020, p. 30.

BISHOP, W. M.; RICHARDSON, R. J. Influence of Phoslock® on legacy phosphorus, nutrient ratios, and algal assemblage composition in hypereutrophic water resources. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 5, p. 4544–4557, 2018.

COPAM - CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. . 2008, p. 43–54.

COPETTI, D. et al. Eutrophication management in surface waters using lanthanum modified bentonite: A review. **Water Research**, v. 97, p. 162–174, 2016.

DELGADO, L. H. M. et al. IV-143 - Remediação com argila de lantânio no manancial Joanes I e suas implicações no abastecimento de Salvador, Bahia. n. 1, p. 1–9, 2016.

DING, S. et al. Synergistic adsorption of phosphorus by iron in lanthanum modified bentonite (Phoslock®): New insight into sediment phosphorus immobilization. **Water Research**, v. 134, p. 32–43, 2018.

DUARTE, C. M.; KRAUSE-JENSEN, D. Intervention options to accelerate ecosystem recovery from coastal eutrophication. **Frontiers in Marine Science**, v. 5, n. DEC, p. 1–8, 2018.

FLORES, L. et al. Constructed wetlands for winery wastewater treatment: A comparative Life Cycle Assessment. **Science of the Total Environment**, v. 659, p. 1567–1576, 2019.

FREITAS, J. B. DE A. et al. A técnica de Filtração em Margem : histórico de aplicação no mundo e experiências brasileiras. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 175, p. 165–175, 2018.

FUJIOKA, A. M. A. et al. Avaliação da eficiência da remoção de nitrogênio e fósforo em lagoas de estabilização no tratamento de lixiviado e esgoto sanitário. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 12049–12058, 2020.

GOMES, A. C. C. et al. Fitorremediação de efluentes de piscicultura contendo compostos nitrogenados e fósforo. p. 257–262, 2019.

GONÇALVES, L. A. F.; FERNANDES, F. L. F. Viabilidade da implantação de wetlands em Maria da Fé para tratamento de esgoto. **Centro Universitário de Itajubá**, n. 1, p. 42–54,

2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil IBGE (SINAPI)**. Belo Horizonte, 2020.

KASPRZYK, M. et al. Possibilities of Phoslock® application to remove phosphorus compounds from wastewater treated in hybrid wetlands. **Ecological Engineering**, v. 122, n. August, p. 84–90, 2018.

MARQUES, M. V. A. et al. Influence of the sanitary sewage application method to closed - end furrows on the macronutrient extraction capacity and productivity of elephant grass. **Scientific Reports**, p. 1–9, 2020.

MATOS, A. T. & MATOS, M. P. Características das águas residuárias. **Disposição de Águas Residuárias no Solo e em Sistemas Alagados Construídos**. 1º ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2017.

MEDEIROS, L. Planejamento para uso da água permite crescimento sustentável da UFV. Primeiro a Saber. Viçosa, 2020. Disponível em: <<https://primeiroasaber.com.br/2020/06/15/planejamento-para-uso-da-agua-permite-crescimento-sustentavel-da-ufv/>> Acesso em: 08/12/2020

MLIH, R. et al. Light-expanded clay aggregate (LECA) as a substrate in constructed wetlands – A review. **Ecological Engineering**, v. 148, n. August 2019, p. 105783, 2020.

MORASHASHI, A. C. Formação de biofilme sobre filme polimérico biodegradável : contribuição para o desenvolvimento de tecnologia mitigadora do processo de eutrofização Universidade Federal do ABC. Programa de **Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental**. Santo André, 2019.

NAZARI-SHARABIAN, M.; AHMAD, S.; MOSES, K. Climate change and groundwater : a short review Climate change and groundwater : a short review. **Engineering, Technology and Applied Science Research**, v. Vol. 8, No, 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). ONU: 4,5 bilhões de pessoas não dispõem de saneamento seguro no mundo. 2017. Disponível em: < <https://brasil.un.org/pt-br/77075-onu-45-bilhoes-de-pessoas-nao-dispoemdesaneamento-seguro-no-mundo>>. Acesso em: 09/08/2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). ONU: Mundo não pode ver água como garantida, afirma chefe da ONU ao lançar década global de ação. 2018. Disponível em: < <https://brasil.un.org/pt-br/79485-mundo-nao-pode-ver-agua-como-garantida-afirma-chefe-da-onu-ao-lancar-decada-global-de-acao>>. Acesso em: 09/08/2020

PAN, M. et al. Synergistic Recapturing of External and Internal Phosphorus for In Situ Eutrophication Mitigation. **MDPI**, p. 4–12, 2019.

PREISNER, M.; NEVEROVA-DZIOPAK, E.; KOWALEWSKI, Z. Mitigation of

eutrophication caused by wastewater discharge: A simulation-based approach. **Springer**, 2020.

ROCHA, S. F. Implantação de um Sistema de Filtração em Margem e avaliação Hidrogeológica da Interação Lago - Aquífero. **Pós-Graduação em Engenharia Civil**, 2015. SABESP. NTS 025: Projeto de redes coletoras de esgotos. . 2020.

SANTOS, L. et al. Aplicação da tecnologia de filtração em margem para população difusa no Semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 4, p. 49–58, 2014.

SENS, M. L.; DALSSASSO, R. L.; MONDARDO, R. I.; MELO FILHO, L. C. Filtração em margem. In: Pádua, V. L. (coord). Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano. Rio de Janeiro: ABES- Prosab 4, p.173-236, 2006.

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA ESGOTO (SAAE). Decreto Nº: 3823: Regulamento Municipal da Autarquia. . 2004.

SILVA, A. R. DA. Avaliação do Processo de Eutrofização das águas superficiais, do cenário nacional ao local: Estudo de caso nas bacias hidrográficas costeiras dos rios Ratonés, Itacorubi e Tavares (Ilha de Santa Catarina, Brasil). **Programa de Pós- Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina**. Florianópolis, 2019a.

SILVA, K. M. DA. Estudo da geoquímica do Fósforo em sedimentos da Laguna de Araruama – RJ, para avaliação do processo de eutrofização. **ENSP - Escola Nacional de Saúde Pública. FIOCRUZ - Fundação Oswaldo Cruz**, v. 8, n. 5, p. 55, 2019b.

SILVA, P. L. C.; MESQUITA, T. C. R. Aporte de nitrogênio e fósforo em um lago eutrofizado. **ENG 685 - Técnicas Experimentais em Saneamento Ambiental**, 2019. VON SPERLING, M.; SEZERINO, P. H. Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil. **Publicação online Boletim Wetlands Brasil**, p. 65, 2018.

WEBER, C. F.; PRADO, M. R.; KAICK, T. S. VAN. Dimensionamento De Wetlands Construídas Em Sistemas Individuais Individuais De Tratamento De Esgoto Sanitário. **Segundo simpósio brasileiro sobre wtlands construídos**, p. 1–9, 2014.

ZAMPARAS, M. et al. Novel composite materials for lake restoration: A new approach impacting on ecology and circular economy. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 8, 2020.