

## ESTUDO DA EFETIVIDADE DOS JARDINS FILTRANTES NO TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS

Autoras: Beatriz de Fátima Ribeiro<sup>1</sup>  
Gabrielle Peruch Blauth<sup>1</sup>  
André A. Gutierrez Fernandes Beati<sup>2</sup>  
Universidade São Francisco

<sup>1</sup>Alunas do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade São Francisco; Campus Swift

<sup>2</sup>Professor Orientador, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade São Francisco; Campus Swift.

**Resumo.** A escassez de água potável, os conflitos associados aos usos múltiplos e a cobrança pelo uso vem pressionando a tomada de decisões que envolvem o tratamento de água, esgoto e resíduos e o reuso de água. Para isso as técnicas de tratamento de efluentes também devem crescer para que se possa atender a demanda necessária de água potável, pois o homem utiliza água para todos os fins no seu cotidiano. Assim diversos métodos de tratamento têm surgido, dentre eles o Jardim Filtrante, também conhecido por sistemas artificiais de zonas úmidas, que ganhou, gradualmente, aceitação pelo mundo. Dentro dessa aceitação podemos englobar aspectos de design, construção e operação, nos quais o sistema tem sido reconhecido cada vez mais como vantajoso, são utilizados meios artificiais para a criação de um cenário natural. No trabalho será apresentado um Jardim Filtrante em plena atividade localizado em uma empresa privada em Campinas-SP, o modo de análise aconteceu através de dados reais realizados em laboratório demonstrando assim a efetividade do tratamento de águas cinzas. A conclusão se baseada na comprovação da eficiência dos jardins no tratamento de águas cinzas, de acordo com os resultados obtidos neste trabalho e em comparação com a legislação vigente, foi mostrando também como o clima tem influência sobre os jardins que tem o intuito de apresentar uma condição natural de tratamento.

**Palavras-chave:** jardim filtrante, tratamento, águas cinzas, plantas.

### INTRODUÇÃO

A água é o bem mais utilizado no mundo e a demanda de seu uso cresce exponencialmente devido ao aumento da população, pois, é utilizada pelo homem em praticamente todas as atividades que realiza, para necessidades básicas de sobrevivência, na geração de energia, na irrigação de plantações para fornecer alimentos, na navegação para transporte de cargas, para pesca e muitas outras atividades no ramo industrial. Com isso, técnicas de tratamento têm sido desenvolvidas com a finalidade de manter esse bem natural disponível, na forma potável.

Mapeando-se a origem do problema, torna-se necessário voltar o foco não apenas à conservação da água, mas também ao tratamento de água, mas a pós-uso, ou seja, tratamento dos efluentes industriais e sanitários. O esgoto sanitário, definido pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) como “[...]despejos líquidos residenciais, comerciais, águas de infiltração na rede coletora, os quais podem conter parcela de efluentes industriais e efluentes

## TRABALHO DE GRADUAÇÃO - ENGENHARIAS

não domésticos”), apesar de ser produzido em todas as regiões do Brasil, tem poucas regiões que o tratam eficientemente e, com isso, em sua grande maioria, promovem o descarte inadequado desse resíduo nos corpos d’água.

Atualmente, conta-se com diversas legislações brasileiras para controle do descarte desses efluentes e para que esses descartes inadequados sejam evitados e, se ocorrerem, penalizados. As legislações, emitidas por órgãos governamentais, determinam limites de elementos químicos e biológicos no “tratado” que volta à natureza, o que garante a maior proteção dos corpos d’água.

O tratamento dos efluentes está diretamente relacionado à saúde pública, pois o não tratamento antes do descarte, traz problemas ambientais, como a degradação do ecossistema natural onde o esgoto é lançado, e sociais, podendo promover ambientes propícios à propagação de doenças, principalmente quando atrelado à falta de saneamento básico. Porém, os tratamentos podem ser das mais variadas naturezas, com diferentes prós e contras. Um desses tratamentos é através dos Jardins Filtrantes ou “wetlands” (terras alagadas).

É possível utilizar três tipos de “wetlands” existentes hoje: o comparado à ecossistemas naturais de áreas alagadas, com superfície de água livre e visível, que forma algo como um lago; o “wetland” de fluxo vertical, onde a água corre verticalmente por uma estrutura formada por areia e cascalho e plantas macrófitas que fazem o tratamento da água através de suas raízes; e o “wetland” de fluxo horizontal, no qual a água é distribuída horizontalmente pela estrutura semelhante ao sistema de fluxo vertical (SEMINÁRIO WETLAND, 2015).

O funcionamento de um Jardim Filtrante, acontece pela presença de processos biológicos, químicos e físicos nas chamadas zonas de raízes. Esses processos são entre as plantas macrófitas e os microrganismos presentes no jardim, e ocorrem de modo natural e em uma relação de protocooperação. A fotossíntese das plantas produz e disponibiliza oxigênio ao meio, que é utilizado pelos microrganismos aeróbicos no processo de degradação da matéria orgânica, além de também existir uma etapa de atuação dos microrganismos anaeróbicos, que não utilizam o oxigênio, mas utilizam o carbono disponibilizado também pelas plantas. Além disso, as raízes das plantas participam ativamente do processo de filtração, pois capturam elementos orgânicos presentes no efluente para seu metabolismo.

Esse sistema de tratamento através da filtragem do efluente por plantas aquáticas, tem um custo implantação variável de acordo com o tamanho do jardim, porém, considerado baixo, inclusive em manutenção. E, o mais importante, com eficiência no tratamento de esgoto, sem a necessidade de tratamento químico, e ainda criando um ambiente visualmente agradável de um jardim. Segundo a SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), os jardins filtrantes se mostraram a opção mais ecológica no tratamento de lodo contaminado e, obviamente, de recuperação e preservação de rios.

No Brasil, uma indústria multinacional farmacêutica, cuja identidade será preservada, é pioneira no uso da tecnologia dos Jardins Filtrantes para o tratamento de seu efluente sanitário, ou águas cinzas, através do sistema horizontal, mencionado anteriormente. Será apresentado nesse estudo de caso, a eficiência do “wetland” presente na indústria, a partir do comparativo de análises coletadas ao longo dos anos de funcionamento do sistema. O objetivo final é apresentar a tecnologia dos Jardins Filtrantes como uma alternativa eficiente, ecológica, esteticamente superior e econômica para o tratamento dos efluentes.

A atual busca por tecnologias limpas, sustentáveis e econômicas, traz relevância e destaque à este estudo, que trouxe resultados claros da eficiência desse tipo de tratamento, à níveis legais, benefícios ao ambiente através da replicação de um ecossistema natural, com baixo custo de implantação e manutenção, principalmente quando comparados à uma estação de tratamento de efluentes sanitários convencional.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### *Histórico dos Efluentes Sanitários*

A excessiva poluição das águas dos mares, rios, represas e lagoas tem se tornado uma preocupação mundial. A poluição hídrica ocorre quando qualquer mistura altera as propriedades da água afetando a saúde de pessoas, animais e vegetais, sendo normalmente causada pelo lançamento inadequado de restos industriais, agrícolas e esgotos domésticos sem tratamento prévio, nos corpos d'água.

A história dos Jardins Filtrantes surge a partir desse cenário. É um tratamento de poluição baseado em um processo natural que ocorre nas chamadas áreas alagadas ou zonas úmidas de corpos d'água, como mangues, áreas de várzea e brejo, e pântanos. Nessas áreas naturais, a reciclagem de elementos na água e a purificação desta são processos propiciados pela flora local e com isso, pensou-se em aplicar esse funcionamento natural das plantas como ferramenta de tratamento das classificadas "águas cinzas", que nada mais são do que efluente sanitário, esgoto.

Os Jardins Filtrantes, também chamados de sistemas artificiais de zonas úmidas, ganharam, gradualmente, aceitação pelo mundo. Dentro dessa aceitação podemos englobar aspectos de design, construção e operação, nos quais o sistema tem sido reconhecido cada vez mais como vantajoso. Além desses aspectos, cada vez mais áreas profissionais se envolvem com o assunto. Arquitetos, biólogos, paisagistas, ecologistas, engenheiros, todos podem ser facilmente envolvidos em projetos para construção de um Jardim Filtrante. (TANNER, 1996)

Os jardins filtrantes (ou fitorestauração) é uma tecnologia francesa que consiste no uso de plantas nativas para tratar esgotos domésticos e efluentes industriais. Essa metodologia de tratamento teve início em meados da década de 70, na Alemanha, mas ganhou grande aprimoramento de estudo e conhecimento na França, onde, hoje, são mais de 3.500 sistemas de Jardins Filtrantes instalados. Porém, por toda a Europa pode-se encontrar o sistema em uso e também em outros países como nos EUA e Canadá, Austrália, alguns países na África, Ásia e América do Sul.

Quando aplicados no tratamento de efluentes, a técnica pode ser utilizada como uma alternativa secundária ou terciária, realizando a remoção de nutrientes e reduzindo taxas de DQO (Demanda Química de Oxigênio) e DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) do efluente. A estação de tratamento é projetada sob critérios de engenharia e as técnicas de construção variam de acordo com a característica do efluente a ser tratado, da eficiência final desejada na remoção de poluentes, da área disponível e do interesse paisagístico.

### *Estrutura do tratamento biológico utilizando plantas*

No início da utilização de zonas úmidas artificiais como tratamento biológico de efluentes, eram poucas as informações quantitativas de comparação entre espécies, locais adequados, climas, etc. O processo é uma técnica que pode, a princípio, ser aplicada também em locais onde as zonas úmidas são naturais, porém, têm-se dado preferência à construção das artificiais para evitar, inclusive, qualquer tipo de alteração ou dano ao ambiente.

Os sistemas artificiais funcionam principalmente com foco na zona ativa, que é a região das raízes das plantas utilizadas (rizosfera), essa região concentra os processos físico-químicos e biológicos ocasionados da interação de plantas, microorganismos, solo e poluição. Podemos dividir a rizosfera em 2 (dois) espaços: a endorizosfera, representada pelo interior das raízes das plantas, e a ectorizosfera, representada pelos "arredores" das raízes e a zona onde esses 2

## TRABALHO DE GRADUAÇÃO - ENGENHARIAS

espaços se encontram é chamada rizoplano. O rizoplano é o local de maior interação entre plantas e microorganismos, o que é essencial para um tratamento efetivo.

A pesquisa de efetividade dos Jardins Filtrantes está diretamente ligada com tecnologias de design e biológicas. Quais são as espécies utilizadas e como são alocadas no jardim, pode ser a diferença no resultado do tratamento (ELLIOT et al., 1984; TANNER, 1996; KAPPERLMAYER et al, 2002).

São inúmeras as tecnologias que variam em termos de design, equipamento periférico, etc, que geralmente são distinguíveis pela área que é utilizada. Para cada caso, o mais aceitável sistema pode ser adaptado para problemas específicos de tratamento e para condições específicas locais. Além disso, a combinação com outros métodos comuns de tratamento é possível e pode aumentar a efetividade.

Os requisitos básicos para plantas utilizadas em sistemas de Jardins Filtrantes são:

1. Fácil adaptação ecológica;
2. Tolerância climática, à pragas e doenças;
3. Tolerância à poluentes e condições de inundação;
4. Propagação pronta e rápido estabelecimento, disseminação e crescimento;
5. Elevada capacidade de remoção de poluentes, seja por meio de assimilação direta e armazenamento ou indiretamente pelo aumento de transformações microbianas.

A capacidade de purificação de efluentes por zonas úmidas naturais e artificiais, é bem documentada atualmente. Plantas são o principal componente dos sistemas, mas não realizam um processo tão eficiente se não fosse pela interação microbiana (COOPER, 1998).

### *O Jardim Filtrante*

Basicamente, o sistema utiliza a raiz de plantas e os microorganismos presentes nelas e no meio para filtrar os poluentes químicos do efluente. Sem dúvida, o sistema também já ganhou espaço para ser ferramenta social e de conscientização ecológica.

É uma tecnologia considerada de baixo custo, comparada à outras do ramo, além de apresentar manutenção simples e com baixa frequência, pois sua composição se baseia em areia, pedras e as plantas. A estruturação mais comum para os filtros dos jardins consiste em 3 etapas. Na primeira, chamada jardim vertical, o efluente passa em um filtro vegetal vertical onde ocorre a degradação de matéria orgânica e nitrogênio. Em seguida, passa pelo filtro vegetal horizontal no qual o tratamento realizado é sem presença de oxigênio (anaeróbico). A última etapa, é a lagoa terminal, onde a água que chega pode ser utilizada para alguns fins específicos como irrigação das áreas verdes. A manutenção é realizada a cada 10 anos e consiste na remoção de matéria acumulada mineralizada no jardim vertical. Mas a sustentabilidade continua, e essa matéria pode ser utilizada, como adubo para agriculturas. A seguir a Figura 1 esquematiza um jardim e suas etapas e a Figura 2 demonstra um exemplo da área em estudo.

**Figura 1** - Etapas dos Jardins Filtrantes (Fonte: Site Phytorestore).



*Fitorremediação*

As técnicas de utilizar plantas como base do sistema de forma mista, utilizando conjuntos de planta, proporciona várias combinações necessárias para a alteração a forma físico-química dos poluentes, transformando-os em elementos que serão absorvidos e retidos pelas plantas.

Esses mecanismos agem juntos: a fitodegradação dos contaminantes orgânicos pelo consumo de oxigênio, a fitoacumulação de poluentes necessários para a vida das plantas como, cobre, zinco, fósforo, nitrogênio, carbono, etc., a mudança da forma físico-química dos contaminantes que se tornam não biodisponíveis, a fitolixiviação que permite tornar alguns contaminantes líquidos, afim de retê-los nos filtros vegetativos.

Os elementos resultantes são necessários para a vida das plantas e além disso proporciona uma limpeza nos corpos d'água para o beneficiamento humano.

*Parâmetros legais*

Os parâmetros de fatores químicos e físicos, avaliados no tratamento de efluentes sanitários, são definidos por diferentes legislações, de acordo com o final do tratamento, ou seja, de acordo com o descarte, se em linha pública de tratamento ou de volta para um corpo d'água, por exemplo.

A Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 357/2005, de 17 de março de 2005, publicada no DOU N° 053, de 18 de março de 2005, vem substituir a resolução N° 20 do CONAMA, e dispõe sobre a “classificação dos corpos de água e diretrizes para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes”.

O Decreto nº 8.468, de 08 de setembro de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente, traz padrões de emissão de efluentes nos seus artigos a partir da classificação dos corpos d'água, feita no capítulo I.

Para o presente trabalho, utilizou-se os padrões comparativos presentes na resolução do CONAMA art. 21 e no decreto nº 8.468, artigos 18 e 19.

Na tabela 1, são apresentados os parâmetros escolhidos para serem avaliados no efluente, após tratamento, e os limites de atendimento conforme legislações citadas.

TABELA 1 – Limites dos parâmetros medidos para legislação brasileira vigente (Fonte: Dados disponíveis em acervo eletrônico dos órgãos governamentais relacionados; tabela de autoria própria).

Parâmetros Medidos	Resolução CONAMA 430/11 art. 21	Decreto Estadual 8468/76 art. 18	Decreto Estadual 8468/76 art. 19
DBO (mg/L)	120*	60*	---
Materiais Sedimentáveis (mL/L)	1	1	20
pH (a 25°C)	5,0 - 9,0	5,0 - 9,0	6,0 - 10,0
Temperatura (°C)	40	40	40

**METODOLOGIA**

*Caracterização da área de estudo*

O estudo foi realizado nas dependências de uma indústria do distrito de Sousas, Campinas – SP, cujas informações serão preservadas por conta de direitos autorais, pois a empresa já utiliza os benefícios do jardim há anos no mesmo local do planejamento inicial.

## TRABALHO DE GRADUAÇÃO - ENGENHARIAS

A região de Sousas é composta por grandes Área de Proteção Ambiental – APA, e encontram-se diversos remanescentes de vegetação original na região. A diversidade de espécies da flora e fauna é grande e apresenta nascentes, cachoeiras, várzeas, sedes de antigas fazendas de significativo valor arquitetônico, que juntos, constroem um visual notável. Parte do manancial hídrico do Rio Atibaia está localizado nessa região e o próprio rio passa nos fundos da área da indústria estudada. A proximidade dos recursos hídricos nessa área de preservação permanente – APP, aumenta a importância de métodos naturais e ecologicamente corretos com menores impactos ao meio ambiente, principalmente no que se diz respeito à tratamento de água e descarte de efluente.

Em 2013, foi concluída a instalação e início do funcionamento do Jardim Filtrante para o tratamento de efluente sanitário, dentro da indústria em estudo. Desde então, vêm-se acompanhando os resultados de amostras, que são comparadas com a legislações brasileiras para reconhecer o efeito positivo de tratamento. Nas Figura 2 e 3, pode-se observar uma foto atual do jardim e sua formação estrutural, respectivamente

**Figura 2** - Foto dos Jardins Filtrantes do local de estudo de caso (Fonte: Acervo pessoal da indústria).



**Figura 3** - Estrutura dos Jardins Filtrantes do local de estudo de caso (Fonte: Acervo pessoal da indústria).



Além disso, houve acompanhamento direto de especialistas da área de Meio Ambiente, que trabalham no local onde se encontra o objeto de estudo, e de professores da Universidade São Francisco – USF, tanto para sanar dúvidas técnicas quanto dúvidas de elaboração do trabalho de conclusão de curso.

Foram também, utilizados dados coletados por laboratório de análise parceiro, que possui contrato direto com a indústria de Sosas.

No comparativo de resultados adquiridos, foram realizadas análises de resultados com base em legislação brasileira vigente CONAMA nº 430/11 e Decreto estadual nº 8468/76, na qual é descrito nos artigos 18 e 19.

#### *Funcionamento dos Jardins Filtrantes*

Todo o esgoto da fábrica é enviado para os Jardins Filtrantes. No início, esgoto será recebido, acumulado e aerado no tanque chamado tanque de recebimento, até que haja volume suficiente para um ciclo, que é aproximadamente 10 m<sup>3</sup>. Do tanque de recebimento, o esgoto é enviado para os filtros verticais (vertical filters), através de um sistema de bombas.

Nesta segunda etapa, composta pelos filtros verticais, o objetivo é a remoção de sólidos e materiais em suspensão, bem como, a retenção de óleos e graxas. Reduzindo estes parâmetros, esta etapa do tratamento reduz, também, a carga orgânica expressa em DBO e DQO, além de contribuir com a primeira etapa de nitrificação, na qual as bactérias presentes nos sistemas de raízes das plantas, com a presença do oxigênio fornecido pela aeração, fazem a transformação do nitrogênio amoniacal em nitritos e nitratos.

Após passar pelos filtros verticais, o esgoto seguirá por gravidade para os filtros horizontais (horizontal filters). Nesta etapa, acontece um “polimento” da etapa anterior, ou seja, uma remoção adicional de sólidos, materiais em suspensão e de óleos e graxas. Além disso, continua a nitrificação na parte superior do filtro, onde existe oxigênio, e na parte inferior, onde se forma um ambiente anaeróbico, ocorre a desnitrificação por bactérias facultativas presentes neste ambiente, que fazem a transformação do nitrito e nitrato em nitrogênio gasoso.

Por fim, após os filtros horizontais, o efluente seguirá, ainda por gravidade, para a lagoa terminal (planted pond), onde ocorre a deposição de qualquer sólido que possa ter restado após as filtrações. Nesta etapa, é promovida uma desinfecção através da penetração dos raios UV do sol, deixando o efluente final livre de contaminações e patógenos. Além destas funções, as plantas escolhidas para esta etapa do tratamento têm a propriedade de introduzir uma grande

quantidade de oxigênio na água, fazendo com que o efluente final, devolvido ao meio ambiente, seja rico em oxigênio.

*Plantas utilizadas nos jardins*

As plantas são selecionadas pelo poder de despoluição e quebra de moléculas. As plantas não acumulam a poluição por isso, podemos fazer compostagem dessas plantas.

As plantas selecionadas, listadas na tabela 2, são todas nativas da região.

TABELA 2. Lista de espécies de vegetais plantados nos Jardins Filtrantes.

	ESPÉCIE	PORCENTAGEM NO JARDIM
Filtros Verticais	<i>Cyperus papyrus</i>	20 %
	<i>Thalia geniculata</i> (flor branca)	5%
	<i>Thalia dealbata</i> (flor azul)	10%
	<i>Cyperus alternifolius</i>	10%
	<i>Echidnopus grandiflorus</i>	10%
	<i>Andropogon spp.</i>	5%
	<i>Colocasia esculenta</i>	20%
Filtros Horizontais	<i>Typha domingensis</i> (taboa)	10%
	<i>Colocasia esculenta</i>	10%
	<i>Cyperus papyrus</i>	10%
	<i>Thalia geniculata</i> (fleur blanche)	5%
	<i>Thalia dealbata</i> (fleur bleu)	5%
	<i>Echidnopus grandiflorus</i>	10%
	<i>Cana indica</i>	5%
	<i>Strelitzia spp.</i>	5%
	<i>Colocasia esculenta</i>	20%
	Lagoa	<i>Colocasia esculenta</i>
<i>Pontederia spp.</i>		10%
<i>Eleocharis</i>		5%
<i>Colocasia nigra</i>		5%
<i>Heliconia spp.</i>		5%
<i>Nymphaea spp.</i>		10%
<i>Equisetum giganteum</i>		10%
<i>Alocasia giganteum</i>		5%
<i>Sagittaria spp.</i>		5%

As espécies foram mantidas ao longo dos anos, por apresentarem boa adaptabilidade e pelos resultados positivos adquiridos com elas. A distribuição de espécies pelo sistema pode ser observando na figura 4.

**Figura 4** - Estrutura dos Jardins Filtrantes do local de estudo de caso (Fonte: Acervo pessoal da indústria).



### *Coletas*

As coletas de amostras nos pontos de vazão de entrada e saída dos Jardins Filtrantes, são feitas mensalmente, por uma empresa terceira contratada diretamente pela indústria farmacêutica, desde o primeiro ano de seu funcionamento, 2013, até o ano atual, 2018. No entanto, as análises do estudo foram feitas para os anos de 2013, 2015 e 2017, como um comparativo base.

Todos os dados foram compilados e comparados com a legislação brasileira vigente para checagem de valores dentro e fora dos limites permitidos.

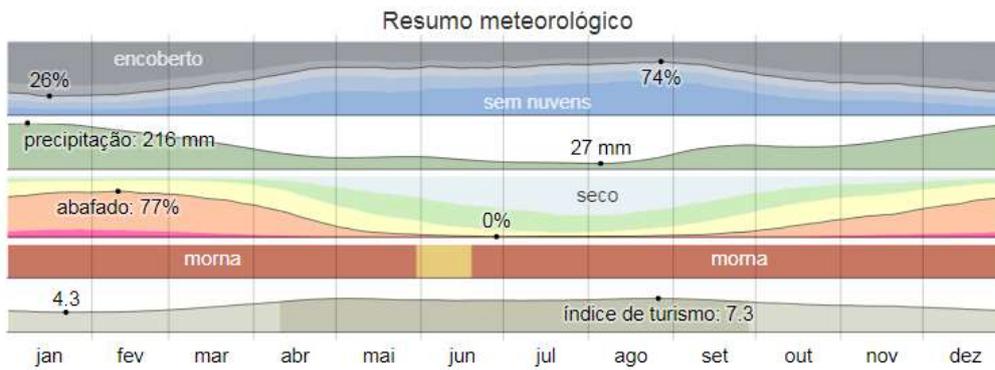
### *Clima*

Ao longo das análises de dados foi realizado uma pesquisa sobre a climatologia geral da região de Campinas, pois nada específico com relação ao distrito de Sousas foi encontrado.

Estudos como do site Weather Spark mostram como acontece o desempenho do clima anualmente em Campinas e Região, as informações são baseadas a partir de informações coletadas durante os anos de 1980 à 2016. As condições climáticas são essenciais para o desempenho do Jardim Filtrante como também para qualquer alteração que o mesmo venha sofrer, como por exemplo maior vazão nos meses do verão devido ao alto nível de precipitação, maior evapotranspiração nas épocas mais secas diminuindo a vazão de líquidos presentes nos efluentes. A evapotranspiração é definida como o processo simultâneo de transferência de água para atmosfera a partir da evaporação e da transpiração, uma vez que é praticamente impossível distinguir a origem do vapor d'água (TUCCI, 1997).

A figura 5 é o resumo meteorológico observado ao longo do tempo de estudo.

Figura 5 – Resumo meteorológico de Campinas e Região. (Fonte: Site Weather Spark)



As características de temperatura e pluviosidade mencionados na discussão também podem ser vistos nos resumos disponibilizados pelo CEPAGRI. (figuras 21 e 22)

Figura 6 – Média mensal da temperatura máxima (em graus Celsius °C), da temperatura mínima (em graus Celsius °C) e da precipitação (em milímetros), no período de 1990 a 2017, na região de Campinas. (Fonte: CEPAGRI)

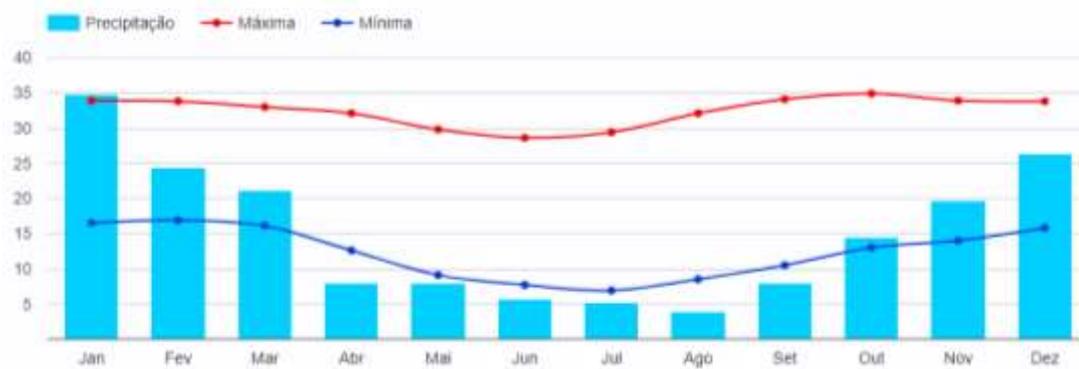
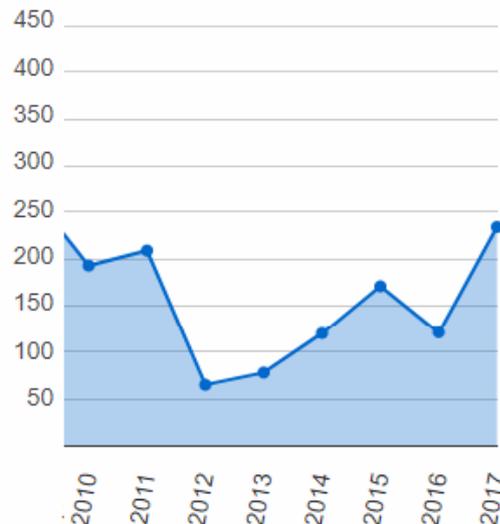


Figura 7 – Soma de Precipitação, em milímetros, em escala mensal, desde 2010, na região de Campinas. (Fonte: CEPAGRI)



Percebe-se através do gráfico de precipitações, que nos anos em estudo as precipitações foram bem baixas com relação aos anos antes e após o período de estudo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da realização das coletas e disponibilização dos dados pela indústria, as análises trouxeram resultados satisfatórios quando se fala de níveis permitidos legalmente de determinados elementos químicos presentes no tratado final gerado pelos Jardins Filtrantes.

O sistema foi muito eficaz, desde o início de seu funcionamento, eliminando poluentes e não alterando os principais parâmetros analisados como temperatura, pH, sólidos sedimentáveis e DBO, parâmetros que foram priorizados durante a análise dos resultados das coletas. Além disso, foi possível fazer uma análise de tendências nas variações maiores entre anos e meses.

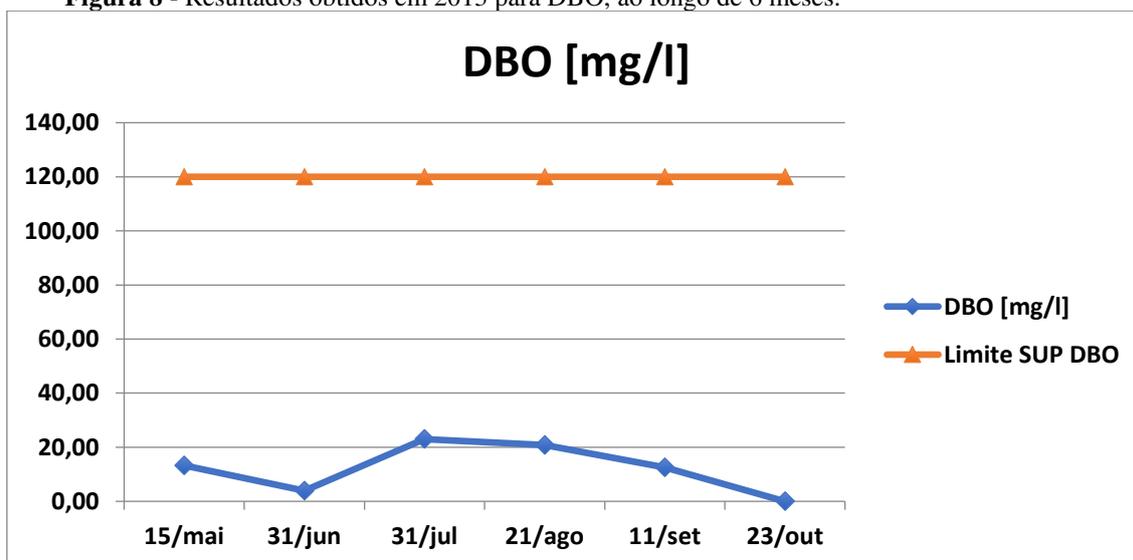
### *Resultados para o ano de 2013*

O ano de 2013 foi o ano de início do funcionamento dos Jardins Filtrantes analisados. Os dados das análises mostram que, mesmo com pouco tempo de atividade, os resultados já foram positivos. Mesmo com um grande pico de materiais sedimentáveis em outubro, o resultado do tratamento se mostrou eficiente por se manter dentro dos limites aplicados por legislação comparativa.

As imagens 8, 9, 10, 11 e 12, são gráficos de desempenho do tratamento nos parâmetros analisados.

Segundo o tecnólogo em construção de edifícios, Douglas Ferreira Pitaluga (TV GREGO, 2014), a eficiência desse tipo de sistema pode chegar a 80% na purificação de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que se trata da quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável (CETESB). Isso pode ser observado através do comparativo de DBO do ano de 2013 (figura 8).

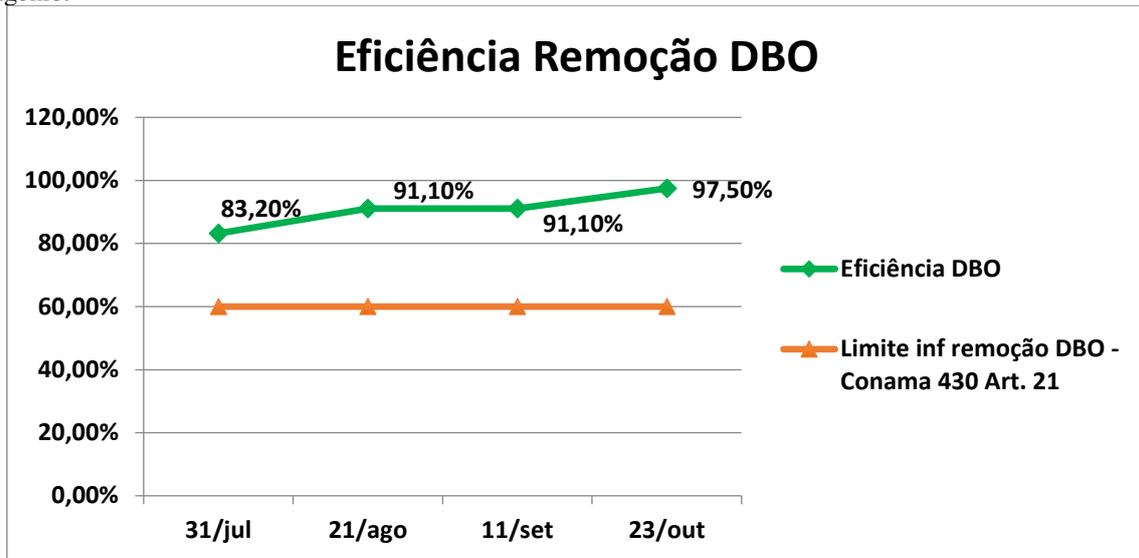
**Figura 8** - Resultados obtidos em 2013 para DBO, ao longo de 6 meses.



No primeiro ano de análise, a DBO ficou dentro dos limites permitidos pela legislação, mostrando assim a efetividade no tratamento do efluente para esse parâmetro.

A figura 9 ilustra os resultados em 2013 obtidos quanto a eficiência na remoção de DBO.

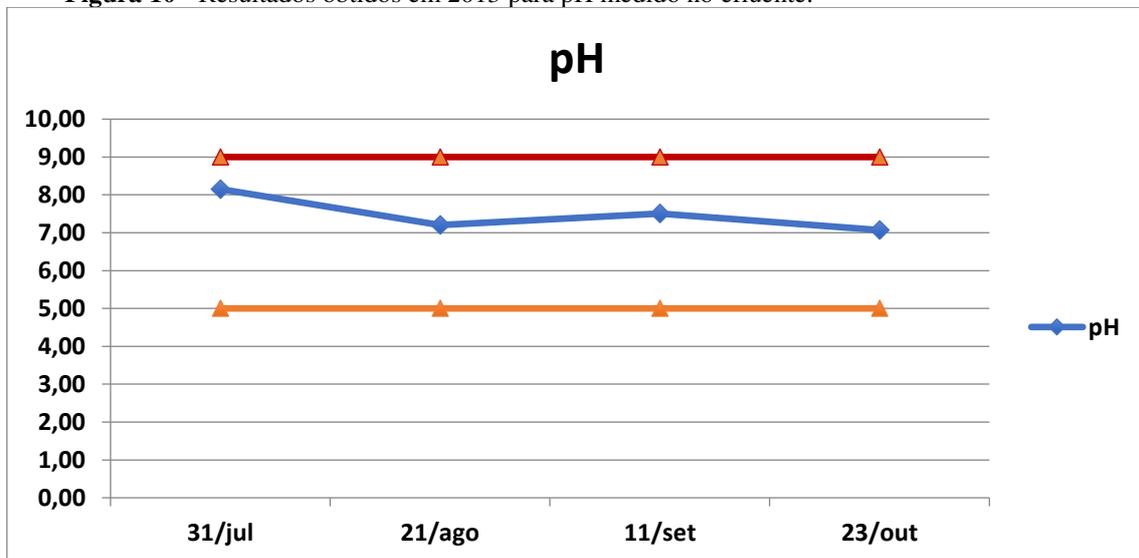
Figura 9 - Resultados obtidos em 2013 quanto à eficiência na remoção de Demanda Bioquímica de oxigênio.



No primeiro ano de análise, a eficiência da remoção de DBO foi superior ao mínimo de remoção que o padrão Conama determina, mostrando assim, a efetividade no tratamento do efluente já na primeira amostra.

A figura 10 irá apresentar os dados para o pH.

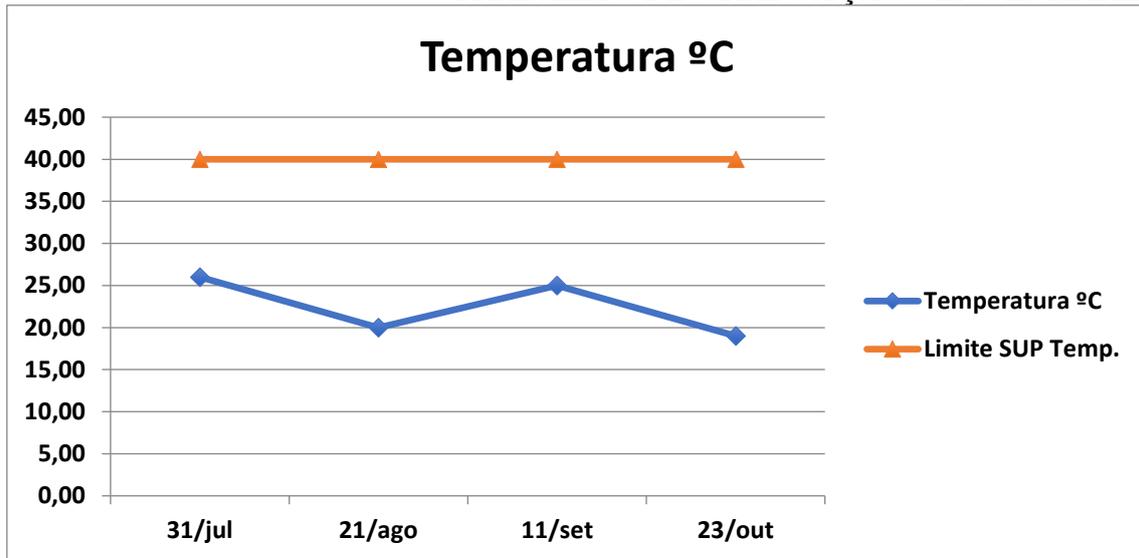
Figura 10 - Resultados obtidos em 2013 para pH medido no efluente.



No primeiro ano de análise, a faixa do pH ficou próximo ao neutro conforme a linha azul do gráfico em análise. O mínimo pelo Conama é na faixa ácida de 5 e o máximo na faixa 9 de base. Novamente, o parâmetro se encontra dentro dos limites legais.

A figura 11 mostra a variação de temperatura registrada nas coletas e o limite máximo pelo Conama.

Figura 11 - Resultados obtidos para temperatura em 2013.

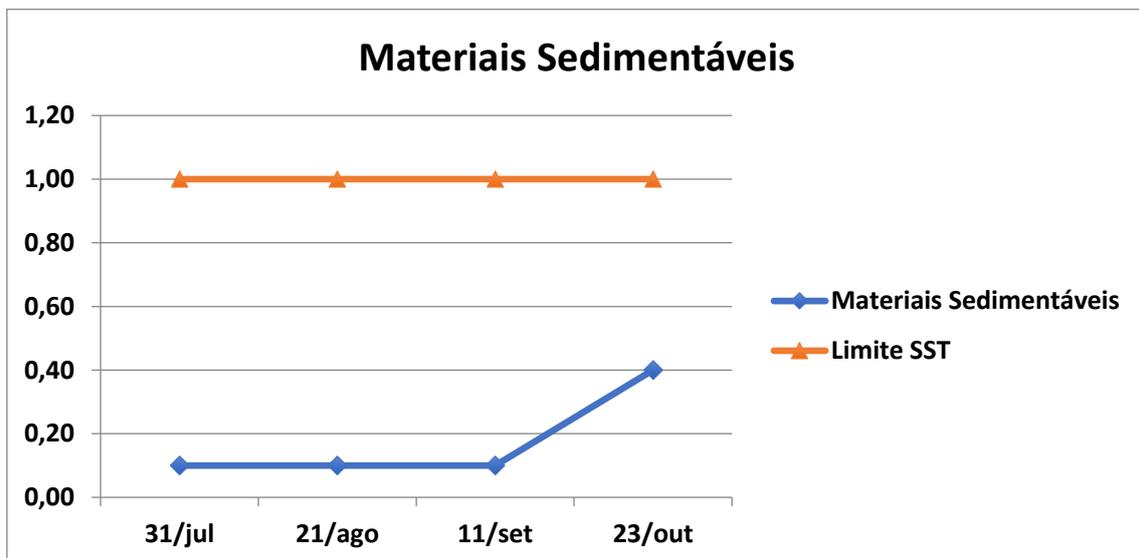


No primeiro ano de análise a temperatura encontrada já estava em condição de manter organismos vivos, pois estava bem próximo a temperatura de um lago comum, como demonstrado no gráfico a mesma se encontra abaixo do limite máximo que é de 40°C.

É válido relacionar esse parâmetro à climática local. A região onde se encontra o sistema de Jardins Filtrantes é de clima quente e temperado, e de pluviosidade significativa, ou seja, umidade elevada. Segundo VON SPERLING (2014), o clima tem grande influência sobre o esgoto de uma região, desse modo, também tem influência direta na temperatura dos jardins filtrantes.

A próxima figura 12 irá trazer informações sobre o limite máximo de sedimentação e o desempenho do jardim filtrante.

Figura 12 - Resultados obtidos para materiais sedimentáveis em 2013.

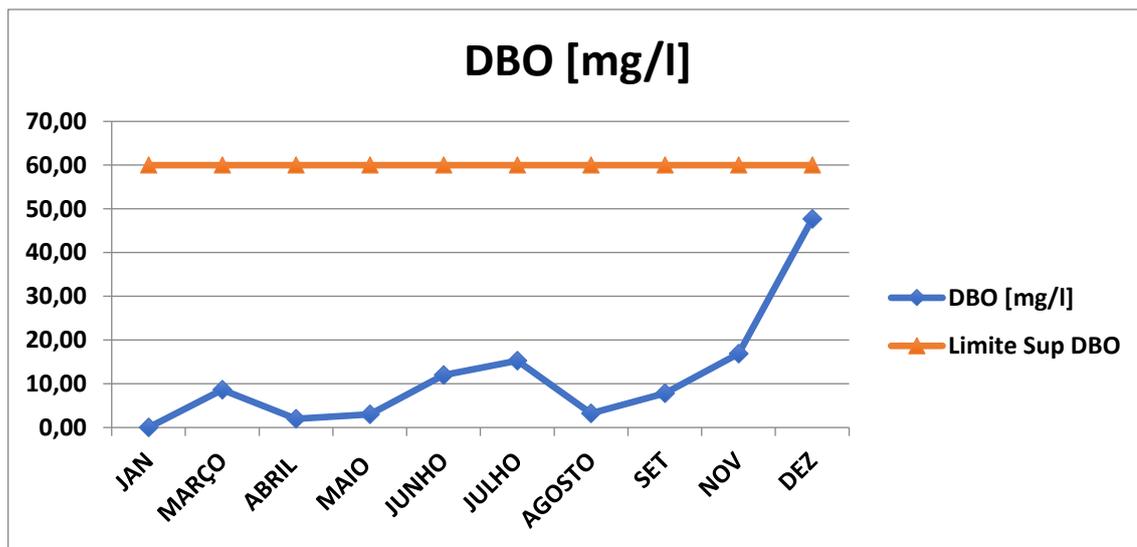


No primeiro ano de análise de materiais sedimentados, as medições ficaram todas dentro dos limites legais. Destaca-se a variação marcante entre os meses de setembro e outubro como um processo natural, pois no início de funcionamento do jardim, a carga de sólidos era menor e aumentou gradualmente com os anos de funcionamento, como será visto nos próximos resultados.

Em 2015, o cenário continuou positivo. Os resultados se mantiveram favoráveis, dentro dos limites legais aceitáveis para o tratamento de efluentes sanitários. Foi registrado um pico de aumento em DBO no mês de dezembro, que não prejudicou a eficiência do tratamento. As ilustrações 13, 14, 15, 16 e 17 a seguir são gráficos de desempenho para esse ano.

A figura 13 exemplifica o primeiro parâmetro analisado, de DBO.

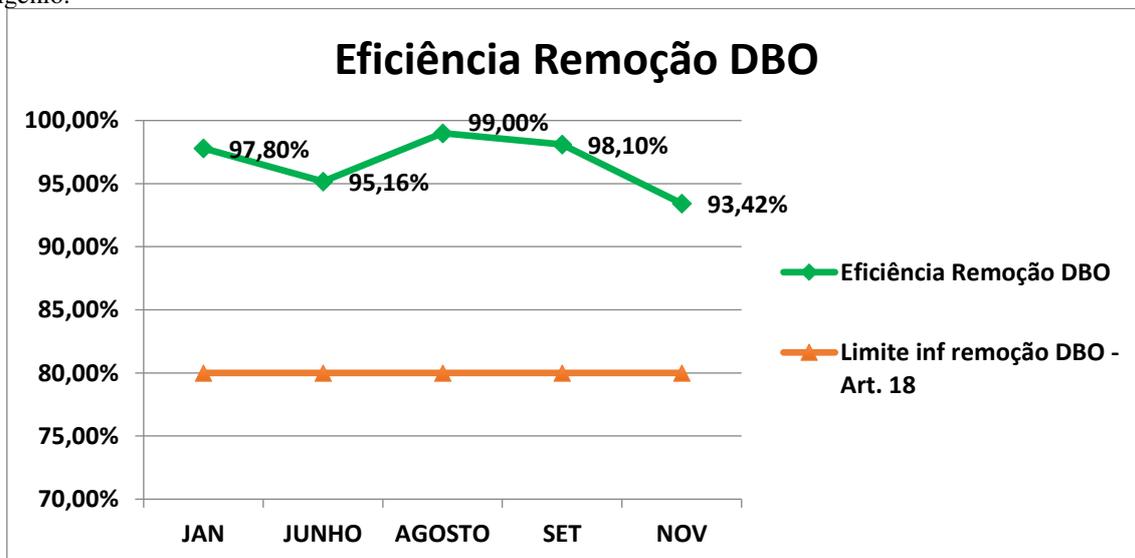
Figura 13 - Resultados obtidos em 2015 para DBO.



No segundo ano de análise, a DBO ficou abaixo do parâmetro máximo da legislação em questão, mostrando assim a efetividade no tratamento do efluente. Apenas no mês de dezembro essa variação subiu, devido as chuvas que alteram a concentração de material orgânico, contudo os resultados ainda ficaram dentro dos limites legais.

A figura 14 ilustra os resultados em 2015 obtidos quanto a eficiência na remoção de DBO.

Figura 14 - Resultados obtidos em 2015 quanto à eficiência na remoção de Demanda Bioquímica de oxigênio.

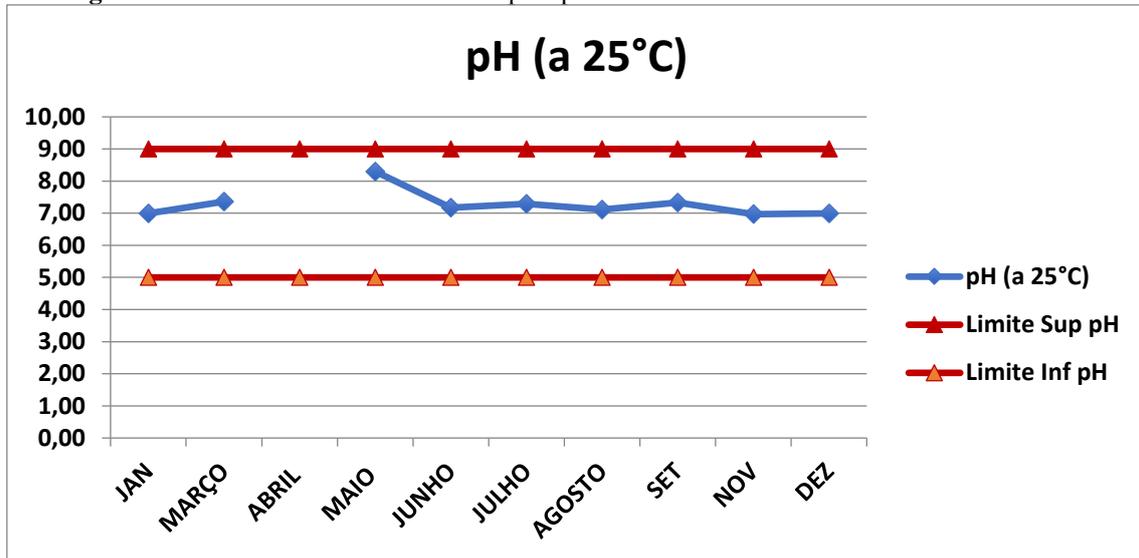


## TRABALHO DE GRADUAÇÃO - ENGENHARIAS

No segundo ano de análise, a eficiência da remoção de DBO foi superior ao mínimo de remoção que o padrão Conama determina, atingindo alta eficiência na remoção de DBO.

A figura 15, apresenta os dados para o pH, no ano de 2015.

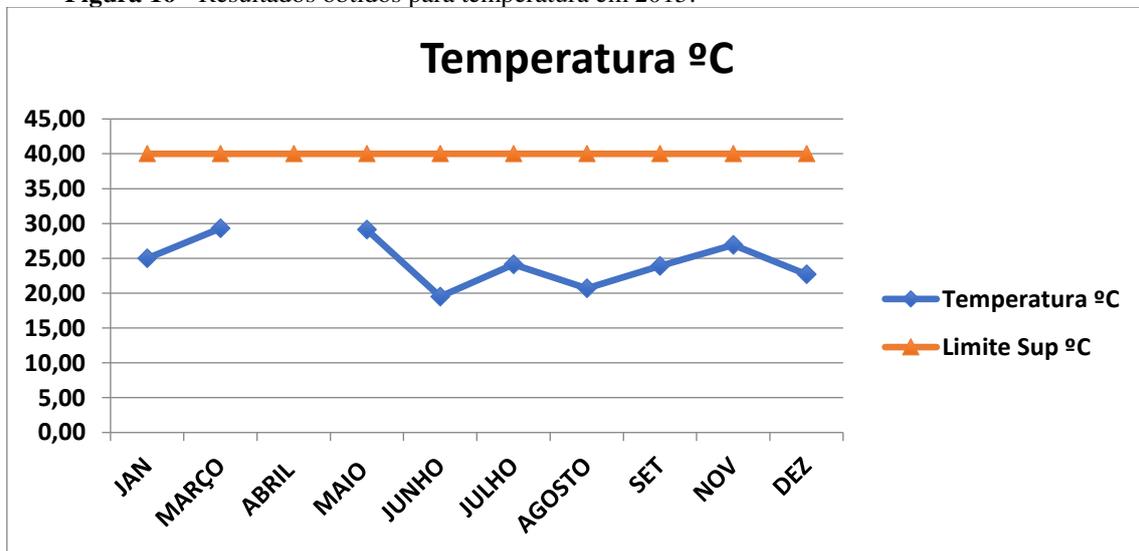
Figura 15 - Resultados obtidos em 2015 para pH medido no efluente



No segundo ano de análise, a faixa do pH ficou elevada por um período, voltando próximo do neutro em questão de 2 meses, conforme a linha azul do gráfico em análise.

A figura 16 a seguir demonstra a temperatura encontrada e o limite máximo pelo Conama.

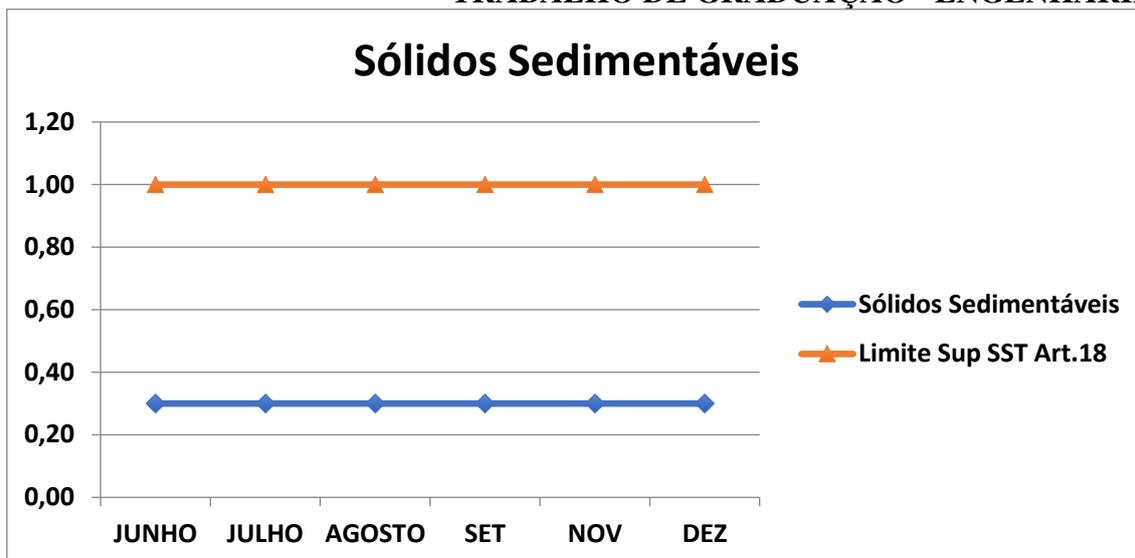
Figura 16 - Resultados obtidos para temperatura em 2015.



No segundo ano de análise, as temperaturas encontradas tiveram oscilações, porém não ultrapassaram os limites da legislação, como demonstrado no gráfico, a mesma se encontra abaixo do limite máximo que é de 40°C.

A figura 17 irá trazer informações sobre o limite máximo de sedimentação e o desempenho do jardim filtrante.

Figura 17 - Resultados obtidos para materiais sedimentáveis em 2015.



No ano de 2015, já é possível notar a estabilização dos materiais sedimentáveis, diferente do primeiro ano de análise (2013), que pode ser considerado um ano de adaptação. O levantamento de dados dos anos de 2014 e 2016, seguem a mesma linha de padronização, com casos isolados de alteração, porém, que não deixaram fora dos limites legais.

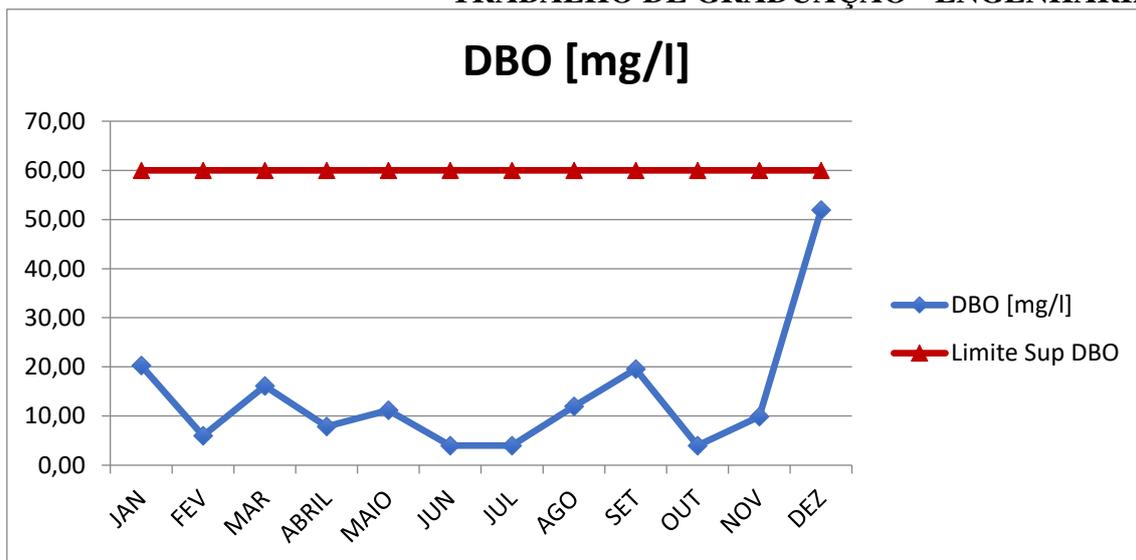
#### *Resultados para o ano de 2017*

Os resultados em 2017, trouxeram variações consideráveis.

A eficiência geral do tratamento não foi comprometida, mas, é possível observar que os resultados obtidos com eficiência em remoção de DBO oscilaram, nos meses de janeiro e setembro, abaixo do limite esperado pelo artigo 18 do decreto 8.468.

O levantamento de histórico mostra que foram registradas ocorrências ambientais internas na indústria que mantêm os Jardins Filtrantes, tais informações são sigilosas, mas considera-se que essa variação teve influência direta com a composição diferenciada do efluente que chegou nos jardins. Com isso, houve também um excesso de sólidos sedimentáveis no efluente final tratado no mês de setembro. As ilustrações 18, 19, 20, 21 e 22, a seguir são gráficos de desempenho. Na figura 18 o gráfico de desempenho de DBO.

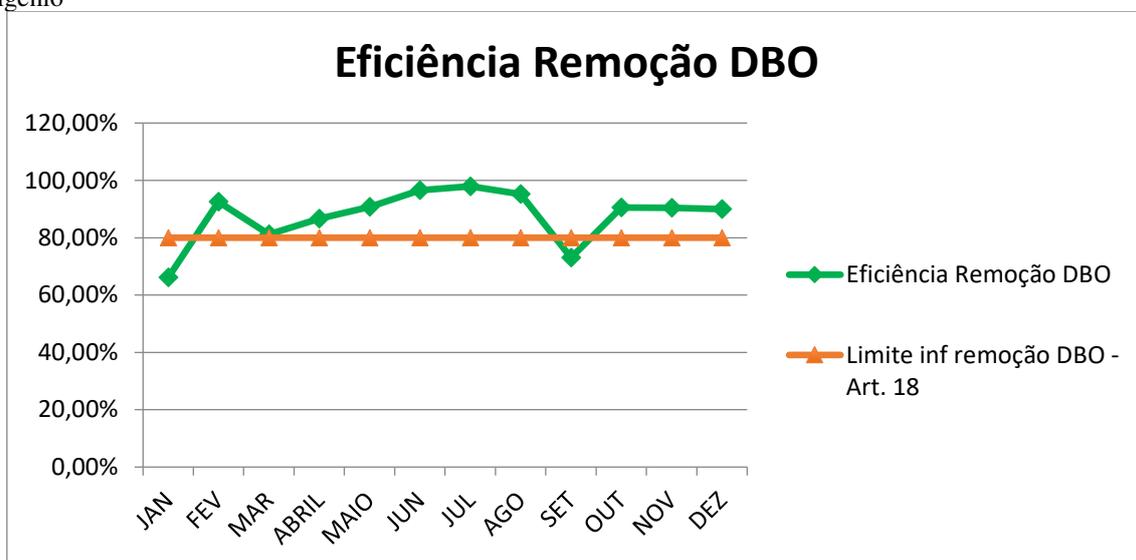
**Figura 18** - Resultados obtidos em 2017 para DBO.



No ano de 2017, a DBO ficou abaixo do parâmetro máximo da legislação em questão, ainda assim sofreu grande oscilação devido às manutenções realizadas nos Jardins Filtrantes, que resultaram em maior quantidade de matéria orgânica acumulada. As manutenções, basicamente, consistem em troca de exemplares mortos e plantio de novos.

A figura 19 ilustra os resultados em 2017 obtidos quanto a eficiência na remoção de DBO.

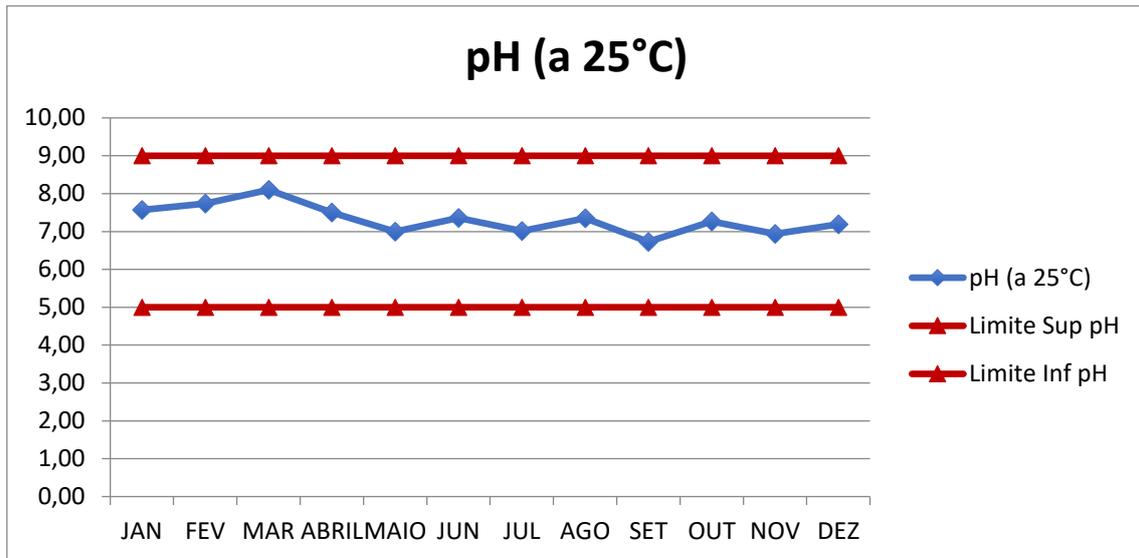
**Figura 19** - Resultados obtidos em 2017 quanto à eficiência na remoção de Demanda Bioquímica de oxigênio



A análise mostra que a eficiência da remoção de DBO foi superior ao mínimo de remoção que o padrão Conama determina, no entanto, houve algumas alterações em decorrência das características que mudaram no efluente recebido, fazendo com que o parâmetro ficasse abaixo do determinado pelo Decreto Estadual 8468/76 art. 18.

A figura 20 a seguir irá apresentar os dados para o pH obtido para o ano de 2017.

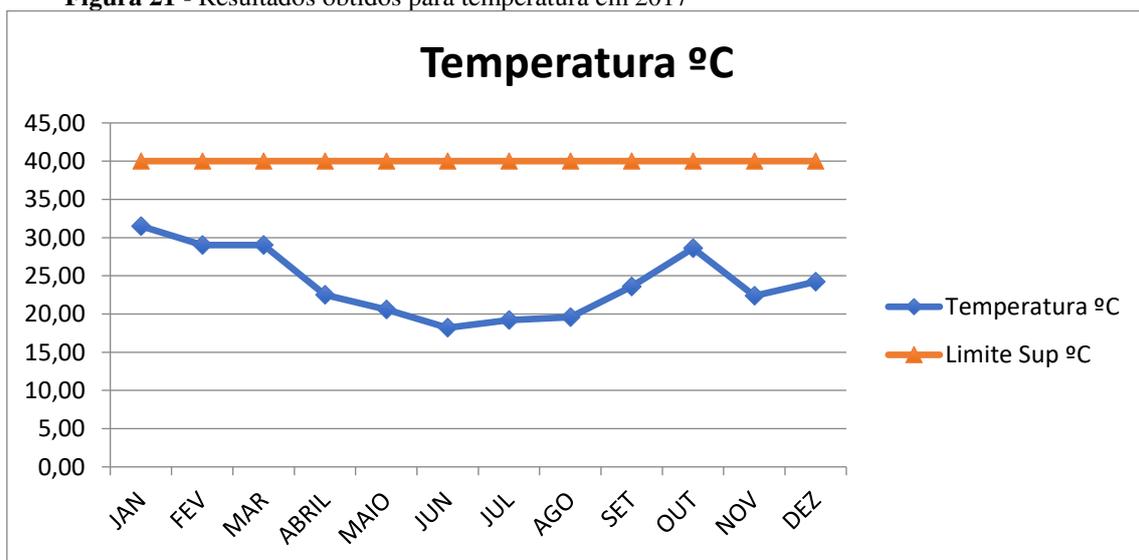
**Figura 20** - Resultados obtidos em 2017 para pH medido no efluente.



A faixa do pH ficou próximo ao neutro, com pequenas alterações, conforme a linha azul do gráfico em análise, mas sempre dentro dos limites legais.

A figura 21 a seguir demonstra a temperatura encontrada e o limite máximo pelo Conama.

**Figura 21** - Resultados obtidos para temperatura em 2017

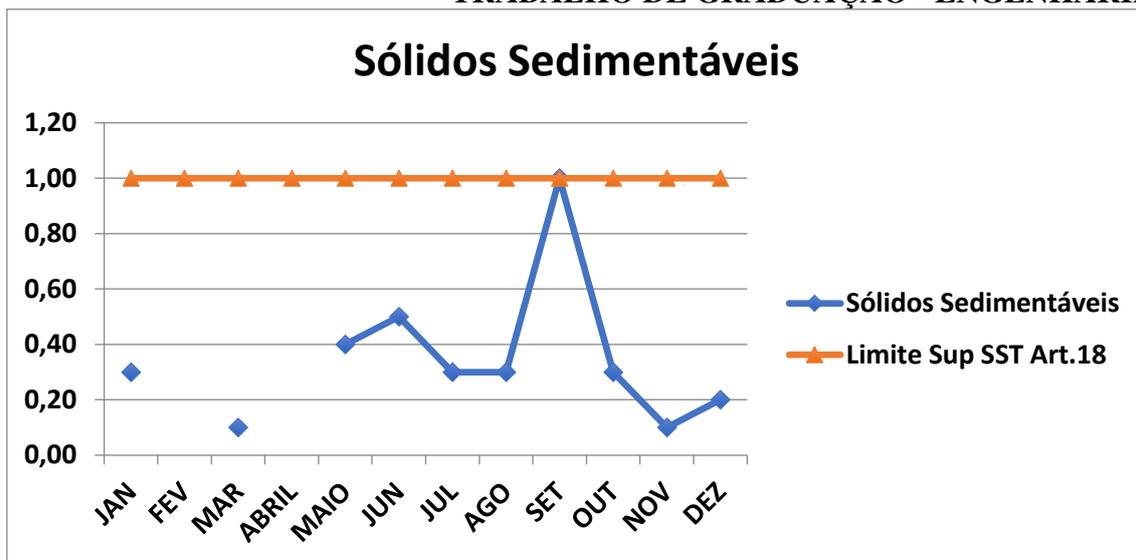


Neste ano, a temperatura encontrada estava elevada em comparação aos outros anos, decorrente de variações da climática local. O ano de 2017 teve temperaturas consideravelmente mais altas nesse período, de acordo com o CEPAGRI (Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura da UNICAMP).

Ainda assim, como demonstrado no gráfico, a mesma se encontra dentro dos limites legais.

A próxima figura 22 contempla informações sobre o limite máximo de sedimentação e o desempenho do jardim filtrante no ano de 2017.

**Figura 22** - Resultados obtidos para materiais sedimentáveis em 2017.



No ano de 2017, houve uma oscilação grande em comparação aos outros anos, o que tem ligação direta com a taxa de remoção de DBO abaixo do determinado pelo art. 18. A variação pode ser provocada por uma alteração na população de microrganismos, devido à variação de temperatura, com isso, a remoção de DBO fica comprometida e os sólidos sedimentáveis ficam em excesso na porção sobrenadante. Ainda assim, o parâmetro não ficou fora dos limites legais.

### Conclusão

Com base nos dados analisados, conclui-se que o sistema de Jardins Filtrantes deste estudo é eficiente no tratamento de efluente sanitário local gerado, pois apresentou certa consistência e padrão nos resultados medidos para os parâmetros de DBO, pH, temperatura e sólidos sedimentáveis. Ressalta-se que a caracterização dos efluentes recebidos em situação real, é complexa para determinação de padrões devido as variáveis de rotina da indústria e climática local, mesmo assim o desempenho ainda foi maior que o esperado.

O uso dos Jardins Filtrantes no tratamento de esgotos sanitários tem crescido substancialmente em diversos locais do mundo. Porém, em maior escala, para instalações de pequeno porte. Já está disponível na literatura científica atual uma quantidade considerável de estudos de monitoramento e aplicações de modelagem de funcionamento desses sistemas, embora existam importantes lacunas de informações, principalmente em países de clima tropical, como o Brasil.

O estudo considera os jardins filtrantes sistemas superiores por apresentarem um custo bem inferior ao de uma estação de tratamento de efluente sanitário tradicional, exigir pouca manutenção, ser limpo em emissões ambientais e utilizar plantas do ecossistema natural e local. Como ponto talvez negativo, o sistema requer uma área grande para a sua instalação, mas pode ser feito em conjunto com áreas verdes e de lazer à população local, em caso de tratamento de esgoto de cidades. Especialistas afirmam que o custo benefício, se for comparado aos modelos tradicionais de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE's), chegam à até 10% (TV CREA-GO). Ainda no aspecto financeiro, de acordo com Arnaud Fraissignes, gerente da empresa Phytorestore, pioneira do ramo de Jardins Filtrantes no Brasil, a facilidade de manutenção da área equivale ao cuidado de qualquer área verde e o custo de um sistema de jardins filtrantes pode ser até 30% mais barato em comparação com um sistema comum de tratamento de água e efluentes.

Os benefícios são inúmeros: contribuem para a redução da poluição, fornecem a

## **TRABALHO DE GRADUAÇÃO - ENGENHARIAS**

melhoria na qualidade do ar local, reduzem os efeitos de ilhas de calor, diminuem a poluição sonora local, entre outros. A partir dos resultados adquiridos neste estudo, recomenda-se o uso de filtros plantados com macrófitas associadas às lagoas de estabilização no tratamento de efluentes sanitários. Em adicional, sugere-se que sejam feitos estudos sobre as condições climáticas do local de implantação, para oferecer uma maior precisão nos fatores que influenciam as oscilações do sistema de tratamento.

Referências Bibliográficas

ELLIOTT L.F, 1984. GILMOUR CM, LYNCH JM, TITTEMORE D. **Bacterial colonization of plant roots**. In: Todd RL, Giddens JE, editors. Microbial– plant interactions. Madison: Soil Science Society of America; 1984. p. 1 –16.

PHYTORESTORE, 2018. Jardins Filtrantes. Disponível em: <<http://www.phytorestore.com>>. Acesso em 16 abr. 2018.

Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 357/2005, de 17 de março de 2005. **Águas Superficiais**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em 06 de mai. de 2018.

Seminário Sistemas Alagados Construídos, 2015, Belo Horizonte. Wetlands, Belo Horizonte: UFMG – Campus Pampulha, 2015.

TANNER, C. C., 1996. **Plants for constructed wetland treatment systems - A comparison of the growth and nutrient uptake of eight emergent species** National Institute of Water and Atmospheric Research. P.O. Box 11-115. Hamilton, New Zealand Received 3 August 1995; accepted 12 December 1995 Ecological Engineering 7 (1996) 59-83.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO: **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos**, 2013. Brasília – SNSA/MCIDADES, 2014. 181p.

TUCCI, C.E.M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS ABRH, 1997.

TV CREA-GO. **Tratamento de esgoto com plantas**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=GoPCJ8vdSgM>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

WEATHER SPARK. **Condições meteorológicas médias de Campinas e Região**. Disponível em <<https://pt.weatherspark.com/y/30197/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Campinas-e-Regi%C3%A3o-Brasil-durante-o-ano>> Acesso em 25 de nov. de 2018.