



**CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAC**

**XXII Semana Unificada de Apresentações**

**Engenharia Ambiental e Sanitária**

**ANAIS  
PROJETOS INTEGRADORES**

São Paulo  
De 23 a 27 de novembro de 2020

## LISTA DE ARTIGOS

**Tampas e bancadas de cimento e vidro triturado reciclado como alternativas sustentáveis a materiais de granito e mármore.**

*Andressa Duarte Gil, Antonio Mardonis Silva, João Lucas Melo de Oliveira, Thaynara Ribeiro Felismino Alessandro Augusto Rogick Athie*

**Elaboração e análise de aquecimento de um aquecedor de água por energia solar de baixo custo com o foco em vidro.**

*Beatriz Tomazini Machado, Juliana Maria Silva, Lucas Lazaro Damasio, Rafael Eihati Shimabuk,, Alessandro Augusto Rogick Athiê*

**Tratamento de esgoto de shopping center para fins de reuso – tratamento anaeróbio de esgoto.**

*Bianca Fontana, Christian Farkas, Giovanna de Alcantara, Juliane Ribeiro, Milena Turetta, Alexandre Saron*

**Tratamento de esgoto de *shopping center* para fins de lançamento em corpo hídrico e redução de custos.**

*Adriano Rocha, Charlon Silva, Clayton Oliveira, Cleuza Santos, Lohaine Rodrigues, Alexandre Saron*

**Tratamento de efluente de shopping center - reator UASB**

*Evelin Jobert, Maisa Cardoso, Murillo Bazarin, Sabrina Ito Alexandre Saron*

**Tratamento de efluente com MBR em shopping center**

*Daniele Gomes, Jonatas Reis, Laiz Oliveira, Vinícius Rodrigues, Valquiria Felix, Alexandre Saron*

Esta é mais uma edição dos Anais dos Projetos Integradores (PI) apresentados sob forma de pôster e comunicação oral durante a realização da XXII Semana Unificada de Apresentações que ocorreu no período de 23 a 27 de novembro de 2020 e de forma remota. Para cada semestre do curso houve o atendimento da disciplina de Projeto Integrador nas habilidades e competências do futuro Engenheiro Ambiental e Sanitarista formado pelo Centro Universitário Senac.

Os dois primeiros artigos foram realizados pelo sexto semestre do curso. O professor da disciplina Alessandro Augusto Rogick Athie descreve que o Projeto Integrador VI, apesar de possuir seus próprios objetivos e estratégias pedagógicas, é também a continuação e o aprimoramento dos trabalhos e projetos idealizados no PI V. Em 2020-1 os alunos desenvolveram planos de negócios relacionados a resíduos sólidos e a proposição de produtos criados a partir do vidro reciclado, em atendimento as demandas criadas por instituições parceiras do projeto, a AMBEV e a SBI, que buscavam alternativas sustentáveis, empreendedoras e voltadas para a Economia Circular no bairros de Interlagos, SP-SP. Desta forma, em 2020-2, para o PI VI ficou o desafio dos estudantes prototiparem /construírem os produtos por eles idealizados e tendo como referência padrões ou normas técnicas vigentes e pré-existentes (quando disponíveis) testarem a qualidade e a eficiência dos produtos, de forma que fossem passíveis de aplicação em situação real, atendendo a demandas da população e como já mencionado, que pudessem criar empreendedorismo local e uma economia circular estável, sustentável, inclusiva e/ou voltada para pessoas em situação de vulnerabilidade socioeconômica. Disto surgiram dois produtos: a) um compósito de concreto e vidro moído, passível de utilização em tampas e bancadas, como alternativa sustentável a substituição de granito e/ou mármore. e b) um protótipo de aquecedor solar feitos com garrafas recicladas

Os outros quatro artigos desta edição foram realizados pelo oitavo semestre do curso. O professor da disciplina Alexandre Saron descreve que o objetivo do PI VIII consistiu na elaboração de um projeto executivo de ETE a partir de um básico previamente aceito pelo cliente. O projeto foi desenvolvido para um shopping center e realizado atendendo habilitações do CREA CONFEA. O dimensionamento consistiu nas etapas do tratamento dos efluentes oriundos de um Shopping Center. A escolha da tecnologia e o destino final do efluente tratado ficou a critério de cada grupo devido as solicitações do cliente. Nas tecnologias apresentadas nos trabalhos, destacam o Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) para os grupos 1, 2 e 3 e o *Membrane Bio Reactor* (MBR) para o grupo 04. O pós tratamento ficou estabelecido a escolha por cada grupo devido o destino final de efluente tratado. A metodologia utilizada no dimensionamento de cada etapa consistiu da estimativa populacional de frequentadores do local, da contribuição per capita de esgoto, uso de literatura técnica para cálculos de eficiência de tratamento, geração de lodo, custos de projetos, além das normas técnicas da ABNT: NBR 13.969/1997 e a NBR 12.209/2011. A potencialidade para a implementação da obra ocorreu através da análise de um balanço hídrico do local. O acompanhamento do projeto executivo ocorreu através do MS Project e a apresentação final do projeto elaborado para o cliente foi através de um vídeo 3D do projeto dimensionado através da ferramenta sketchup renderizado mostrando a tecnologia utilizada.

Os trabalhos foram desenvolvidos 100% de forma remota em função da pandemia do coronavírus realizando o contato com os grupos de trabalho de forma intensa através de ferramentas do Blackboard e Whatsapp com contatos diários. Foi bastante trabalhoso para os alunos e professores mas a recompensa é o diagnóstico e a certeza que o processo de ensino – aprendizagem prevaleceu face aos excelentes trabalhos realizados pelos discentes cuja idealização e orientação foi supervisionada com maestria pelos docentes. Parabéns à todos alunos e professores pelos esforços realizados e objetivos atingidos.

**Editor da XXII Semana Unificada de Apresentações – XXII SUA**

Dr. Alexandre Saron

**Equipe organizadora da XXI SUA (ordem alfabética)**

Msc. Alessandro Augusto Rogick Athie;

Dr. Alexandre Saron;

Dr<sup>a</sup>. Emilia Satoshi Miyamaru Seo

## TAMPOS E BANCADAS DE CIMENTO E VIDRO TRITURADO RECICLADO COMO ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS A MATERIAIS DE GRANITO E MÁRMORE

Andressa Duarte Gil, Antonio Mardonis Silva, João Lucas Melo de Oliveira, Thaynara Ribeiro Felismino  
Alessandro Augusto Rogick Athie

Engenharia Ambiental e Sanitária, Centro Universitário Senac  
<http://www.divulgacaocientifica.sp.senac.br/sua/>

### RESUMO

O presente trabalho, desenvolvido no Projeto Integrador VI, teve como objetivo geral o desenvolvimento de um produto gerador de empreendedorismo e economia circular, proposto originalmente no Projeto Integrador V em parceria com a Companhia de Bebidas das Américas (AMBEV) e a Sociedade Benfeitores de Interlagos (SBI), bem como a realização de testes e ensaios necessários para analisar sua viabilidade técnica. O produto consiste na incorporação de vidro reciclado e moído a uma mistura de cimento, cal, areia e brita, para fabricação de tampos e bancadas como alternativa sustentável para substituição das pedras naturais de granito e mármore. O vidro reciclado moído foi incorporado de forma gradual,

em porcentagem mássica, aos corpos de prova em substituição à pedra (brita) como material estruturante. Com essa substituição de material convencional por vidro reciclado, espera-se redução no preço desse tipo de produto, contribuição à solução da problemática dos resíduos sólidos urbanos da perspectiva da Economia Circular e redução dos impactos ambientais da extração de pedra. A partir dos resultados de ensaios de flexão, absorção de água, expansão por umidade e impermeabilidade foi verificado que o produto possui potencial viabilidade técnica, uma vez que quantidade de vidro moído aos corpos de prova não apresentou influência significativa nos resultados dos ensaios.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reciclagem de Vidro, Empreendedorismo, Economia Circular.

## CONCRETE AND RECYCLED GLASS TOPS AND COUNTERTOPS AS SUSTAINABLE ALTERNATIVES TO GRANITE AND MARBLE MATERIALS

### ABSTRACT

The present work, developed in the Integrator Project VI, had as general objective the development of a product that generates entrepreneurship and circular economy, originally proposed in the Integrator Project V in partnership with the Beverage Company of the Americas (AMBEV) and the Sociedade Benfeitores de Interlagos (SBI), as well as the performance of tests and tests necessary to analyze its technical feasibility. The product consists of the incorporation of recycled and ground glass into a mixture of cement, lime, sand and gravel, for the manufacture of tops and countertops as a sustainable alternative for replacing natural granite and marble stones. The recycled glass was gradually

incorporated, in mass percentage, into the specimens in place of the stone (gravel) as structuring material. With this substitution of conventional material by recycled glass, it is expected to reduce the price of this type of product, contribution to the solution of the problem of municipal solid waste from the perspective of the Circular Economy and reduction of the environmental impacts of stone extraction. From the results of bending tests, water absorption, moisture expansion and impermeability, it was verified that the product has potential technical viability, since the amount of glass ground to the specimens did not present significant influence on the results of the tests.

**KEYWORDS:** Glass Recycling, Entrepreneurship, Circular economy.

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil são produzidas diariamente 216629 toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Cerca de 92% dos domicílios são atendidos pelos serviços de coleta de resíduos, porém cerca de 19000 toneladas de RSU ainda não são coletados e certamente são depositados em locais inadequados, o que provoca situações de impacto social e de degradação ambiental. Esta quantidade enorme de resíduos ameaça diretamente a saúde do homem e a qualidade ambiental devido à proliferação de vetores, poluição do ar, das águas superficiais e subterrâneas, do solo e, também, escassez e esgotamento de recursos naturais. Os RSU possuem grande potencial para reciclagem e reaproveitamento, uma vez que cerca de metade de sua composição é constituída de materiais recicláveis como plásticos, papel, metais e vidro (ABRELPE, 2019), o que evidencia o desperdício e a perda de oportunidades socioeconômicas e ambientais.

Nesse sentido, em parceria com a Companhia de Bebidas das Américas (AMBEV) e a Sociedade Benfeitoria de Interlagos (SBI), que possuem anseios alinhados no que tange à questão dos RSU, no Projeto Integrador V foi elaborado um Plano de Negócios no qual foi proposto um plano de coleta seletiva e destinação de materiais recicláveis, sobretudo no que se refere ao vidro e o desenvolvimento (ou criação) de um produto que utilizasse vidro reciclado e que pudesse gerar práticas empreendedoras e o fomento da Economia Circular. O produto proposto consiste na produção de placas de concreto onde determinadas quantidades de vidro estariam misturadas ao cimento, cal, a areia e a brita, formando um material composto, constituindo esta uma potencial alternativa sustentável a tampos e bancadas de granito e mármore.

Nesse contexto, o Projeto Integrador VI teve como objetivo geral o desenvolvimento de protótipo do produto proposto e a realização de testes e ensaios necessários para analisar sua viabilidade técnica e sua qualidade, em atendimento a padrões técnicos comerciais. Como objetivos específicos, caracterizar as propriedades do novo produto; analisar a viabilidade técnica do material composto e seu atendimento a padrões e normas aplicadas a produtos comerciais semelhantes; promover a reciclagem do vidro de origem doméstica e comercial; promover a redução na exploração mineral de brita, mármore e granito, contribuindo para a minimização dos impactos ambientais de tais atividades.

Este trabalho é de fundamental importância para a questão da problemática dos resíduos sólidos, uma vez que menos resíduos terão como destino final os aterros sanitários, e proporcionando também um estímulo à economia circular e empreendedorismo, além de reduzir os impactos ambientais relacionados à extração dos materiais para fabricação de tampos e bancadas de granito e mármore. Há também relevante contribuição para a área da pesquisa em compósitos, com foco em alternativas sustentáveis.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Informações gerais sobre geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil

Em 2018, foram geradas por dia no Brasil, uma média de 1,039 quilos de RSU por habitante por dia. Desse total, 199311 toneladas foram coletadas, o que representa 92% da quantidade

gerada (ABRELPE, 2019). A Tabela 1 apresenta a participação de cada região do país no total de RSU coletados.

Tabela 1 – Participação das regiões na coleta de RSU.

Região	Participação (%)
Norte	6,6
Nordeste	22,0
Sul	10,8
Sudeste	53,2
Centro-Oeste	7,5

Fonte: ABRELPE, 2019.

Apenas 73,1% dos municípios brasileiros possuem iniciativas de coleta seletiva, sendo que a maioria destas não abrangem todos os bairros do seu município (ABRELPE, 2019). A Figura 1 apresenta a participação das regiões do país no total de iniciativas para coleta seletiva.

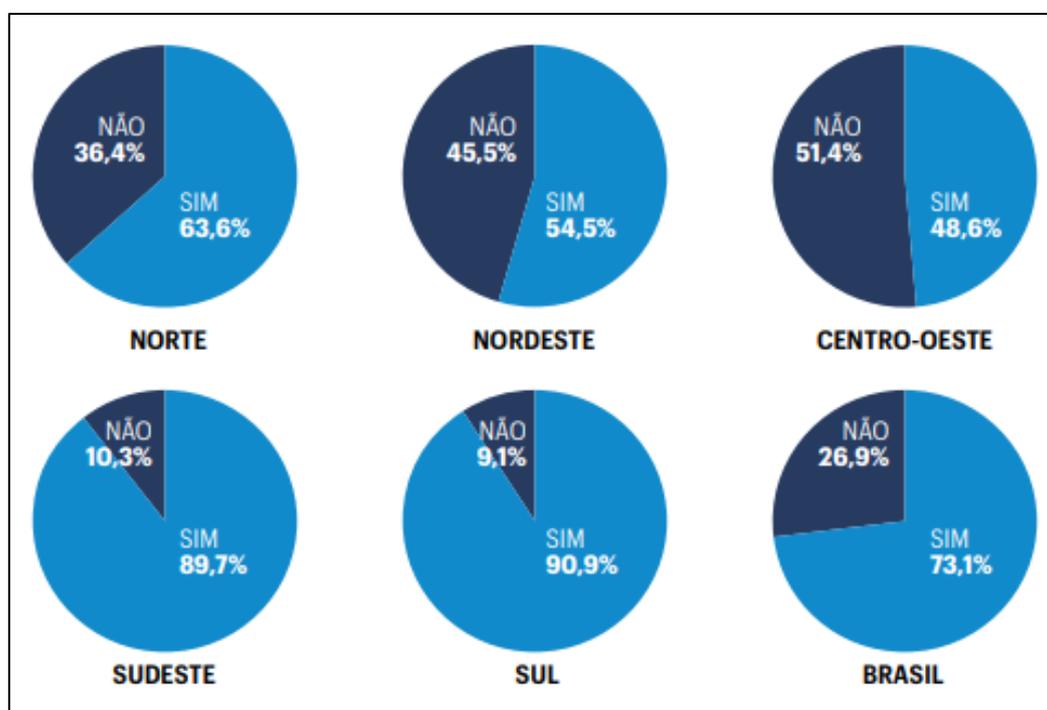


Figura 1 – Municípios com iniciativas para coleta seletiva.

Fonte: ABRELPE, 2019.

Apesar do alto índice de coleta, os lixões e aterros controlados, que não são formas ambientalmente adequadas de disposição final de resíduos sólidos, ainda possuem expressiva participação no destino final dos RSU coletados, como mostra a Figura 2.

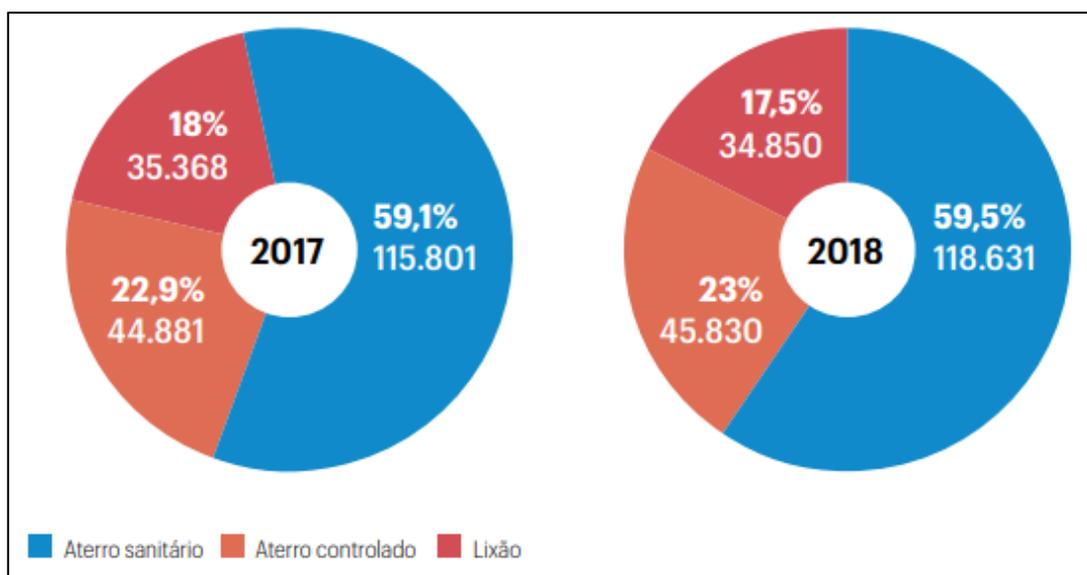


Figura 2 – Disposição final de RSU por tipo de destinação.

Fonte: ABRELPE, 2019.

Dos materiais recicláveis coletados por associações de catadores e cooperativas acompanhados pela Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis (ANCAT), o vidro representou 10% (6738 toneladas) no ano de 2018 como mostra a Figura 3 (ABRELPE, 2019).

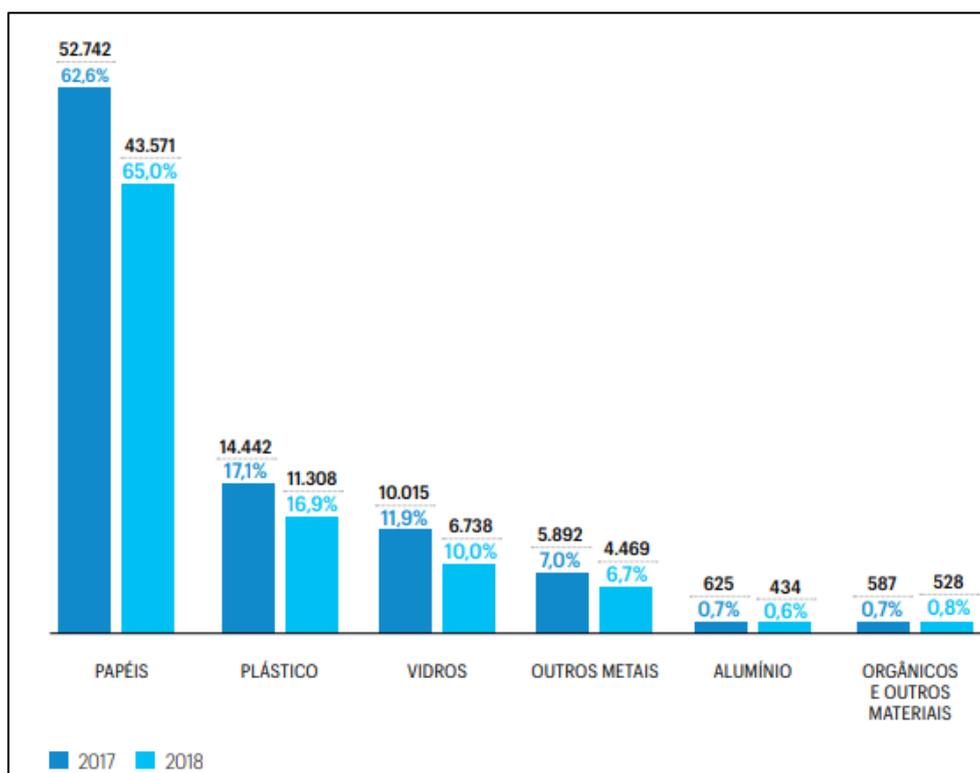


Figura 3 – Tipos de materiais coletados por associações de catadores e cooperativas em toneladas e em porcentagem nos anos de 2017 e 2018.

Fonte: ABRELPE, 2019.

A Figura 4 apresenta os tipos de vidros coletados por associações de catadores e cooperativas nos anos de 2017 e 2018 (ABRELPE, 2019).

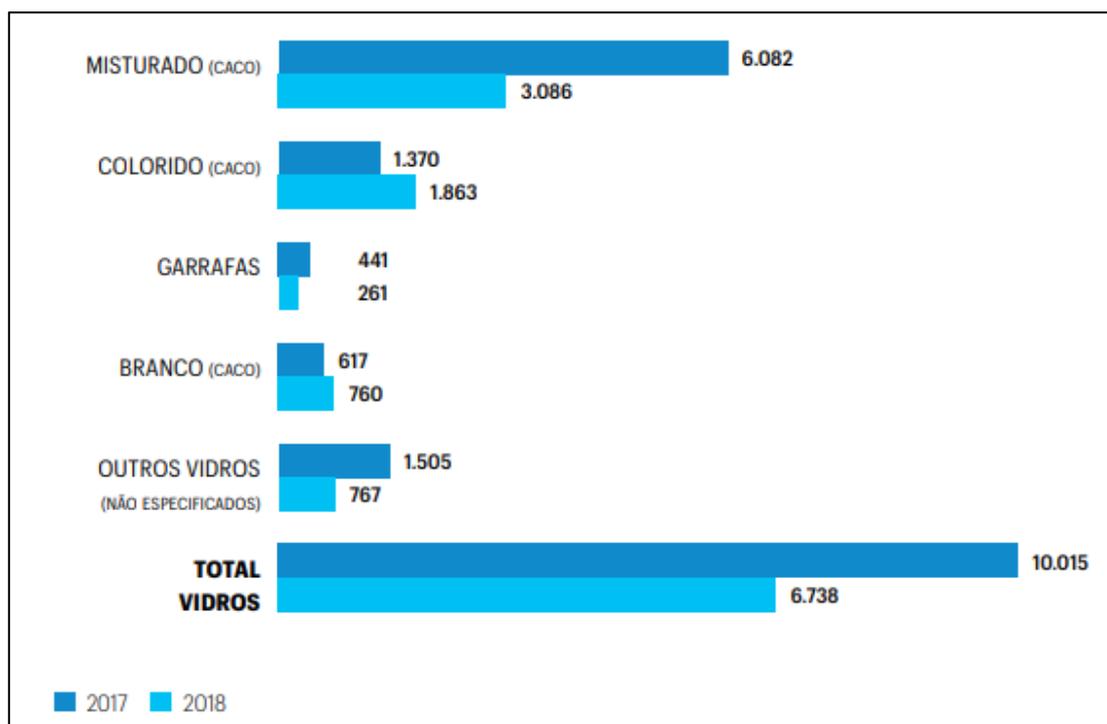


Figura 4 – Tipos de vidros coletados por associações de catadores e cooperativas nos anos de 2017 e 2018.

Fonte: ABRELPE, 2019.

Os Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD) compuseram 52% do total de resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados na cidade de São Paulo, para o ano de 2012, conforme pode ser observado na Figura 5 (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2014).

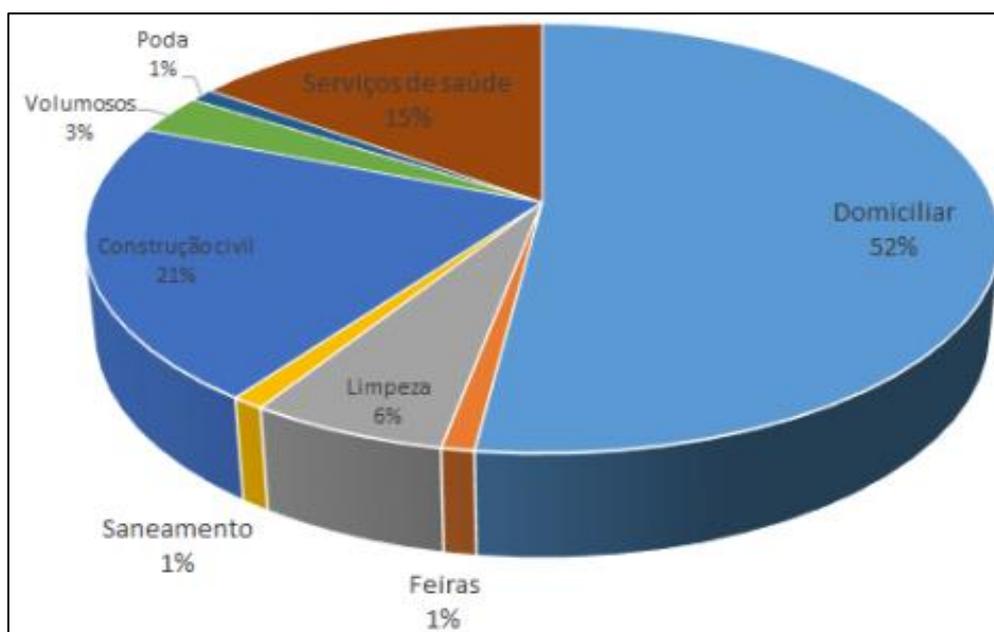


Figura 5 - Composição dos RSU na cidade de São Paulo em 2012.

Fonte: Prefeitura de São Paulo, 2014.

Segundo Mota (2016, p. 333), os RSD possuem massa específica na faixa de 200 a 300 kg/m<sup>3</sup>, e em cidades grandes a geração per capita é de 1 kg/hab dia e, na cidade de São Paulo, para o ano de 2014, possuem composição gravimétrica de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Composição dos RSD na cidade de São Paulo para o ano de 2014.

Material	Composição gravimétrica (%)
Matéria orgânica	61
Metal	2
Papel e papelão	11
Plástico	15
Vidro	1
Outros	10

Fonte: Mota, 2016.

O vidro representa uma pequena fração dessa composição gravimétrica, com alto grau de reciclabilidade e que muitas vezes é ignorado, sendo destinado a aterros.

## 2.2 Reciclagem de vidro no Brasil

Segundo a ABIVIDRO (2019), o vidro demora cerca de 5 mil anos para se decompor, mas pode ser reciclado quase que indefinidamente, a depender da qualidade desejada e do uso do material. No Brasil, a reciclagem de vidro movimentava aproximadamente R\$ 120 milhões por ano e são produzidas 1,3 milhões de toneladas do material. De modo geral, as indústrias de transformação do vidro utilizam a proporção de 40% de caco de vidro reciclado e 60% de material novo em seus fornos, que chegam a 1500°C. E quanto mais caco de vidro reciclado se utiliza, menos energia é necessária para manter o forno trabalhando, gerando economia para a empresa produtora e diminuindo seus impactos ambientais. Além disso, perdas no próprio processo produtivo, como embalagens que se quebram ou que não passam no controle de qualidade, podem retornar para o início do processo produtivo como caco (ABIVIDRO, 2019).

Muitas ações do setor privado visam o retorno de embalagens de vidro para contribuir nesse processo de reciclagem, e a participação da população é essencial. Como exemplos de ações de sucesso, pode-se citar o programa “*Glass is Good*” (vidro é bom, em português) da empresa Diageo, que atua no mercado de bebidas alcoólicas, que já reciclou cerca de 21 mil toneladas de vidro em oito anos de existência do programa (ABIVIDRO, 2019).

Outras empresas com expressivas ações que visam à reciclagem do vidro na indústria podem ser citadas, como, por exemplo, o Grupo Wheaton Brasil, do setor de perfumaria, cosméticos e farmacêutico, que utiliza 5 mil toneladas de caco de vidro reciclado por ano em seus fornos (WHEATON, s/d). Outro exemplo, no setor de bebidas, a AMBEV também possui programas visando a reciclagem do vidro e outras metas relacionadas. A empresa estima que suas embalagens de vidro são reutilizadas até 20 vezes através dos processos de retorno de embalagens, suas

garrafas são produzidas utilizando mais de 60% de caco proveniente de parcerias com cooperativas e catadores e 88% do volume de suas embalagens são retornáveis ou recicladas (AMBEV, s/d).

Além das iniciativas do setor privado, o vidro reciclado é objeto de diversas pesquisas científicas como possível material alternativo sustentável para fabricação de outros produtos e incorporação a outros processos como forma de diminuir a quantidade de material original utilizado, representando possíveis economias com material e energia e redução de impactos ambientais, como realizado por Assis (2006), Vargas e Wiebeck (2007) e Camarate (2016) em áreas como membranas de microfiltração, vernizes e construção civil.

Em proposta semelhante ao objetivo do presente trabalho, Benatti e Azambuja (2016) obtiveram resultados promissores em corpos de prova de concreto, nos quais variou-se a quantidade de vidro e de aditivo, em ensaios de resistência à compressão, absorção de água por imersão, por capilaridade e índice de vazios.

### 2.3 Economia circular e sua relação com a reciclagem de vidro

Entende-se por Economia Circular um modelo estratégico onde os resíduos servem como insumos para a produção de novos produtos criando oportunidade para uma nova ingressão no mercado econômico de forma que esses materiais circulem de forma eficiente sem perda na qualidade (RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2014). De acordo com o autor, o maior objetivo desse modelo econômico é:

Se afastar do modelo atual da economia linear (fabricar, usar, dispor), em direção a um no qual os produtos, e os materiais que o compõe, são valorados de forma diferenciada, criando uma economia mais robusta (HOUSE OF COMMONS, 2014, *apud* RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2014).

A Figura 6 ilustra este conceito.



Figura 6 – Economia Circular.

Fonte: SOMAVANTAGENS, 2019.

Conforme ilustrado na Figura 6, a Economia Circular pode ser bem aplicada quanto ao uso do vidro, pois esse material possui características próprias de resistência ao calor, desgaste e impermeabilidade, podendo ser reciclado por diversas vezes sem perder nenhuma qualidade (CARDOSO, 2014).

O aumento da reciclagem no processo da economia circular do vidro traz grandes benefícios para o ambiente e para os fabricantes pois contribuirá para a parte lucrativa da empresa, pois terá menores gastos de matéria prima e contribui significativamente para o meio ambiente pois cada metro cúbico de vidro fabricado e extraído das fontes primárias, é preciso extrair pelo menos 7 m<sup>3</sup> de rocha sem contar que a o vidro retornando a sua linha de produção novamente terá uma temperatura de fusão menor que a matéria prima utilizada na fabricação de vidro. Há também a economia de energia e recursos naturais alcançados com a reciclagem de vidro, ou seja, convertendo para números, isso significará uma redução de até 300 kg de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) por tonelada de vidro reciclado (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2014).

A Figura 7 a seguir apresenta a composição do vidro sem cacos, ou seja, proveniente da matéria-prima natural e o vidro com cacos que seria o vidro pós-consumo, que é o ambientalmente mais correto.

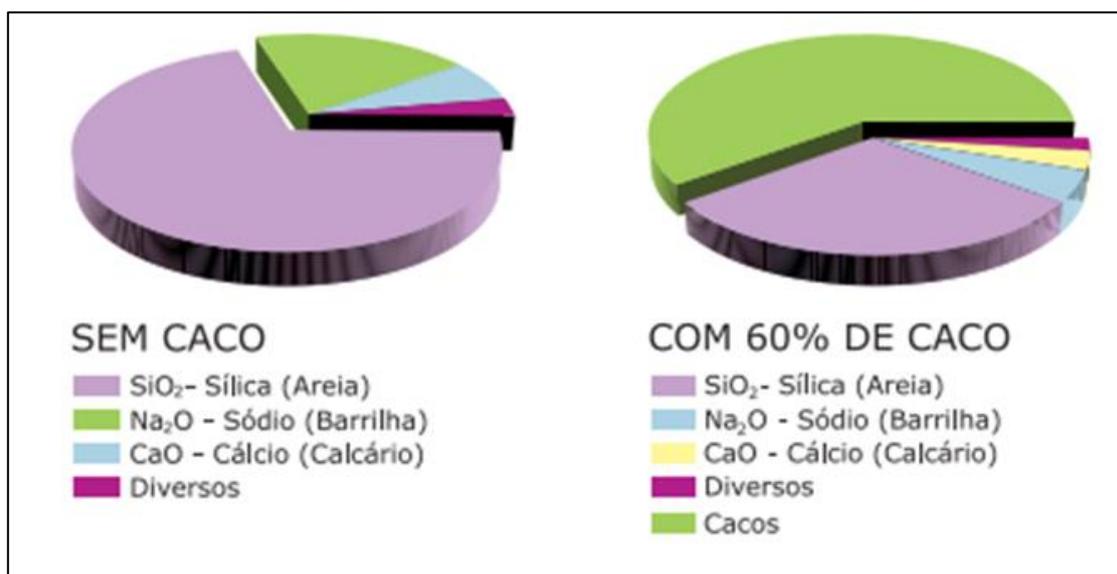


Figura 7 – Composição do vidro sem e com cacos.

Fonte: Governo do Estado de São Paulo, 2014.

É possível perceber que o vidro mesmo pós-consumo ainda permanece com as suas propriedades, por isso a grande facilidade de reciclagem desse material. E os benefícios são:

- Utilizando-se 10% de cacos na produção de vidro, é possível ter um ganho energético de aproximadamente 4%;
- Utilizando-se 10% de cacos na produção de vidro, se reduz em 5% a emissão de CO<sub>2</sub>;
- 1 tonelada de cacos significa a economia de 1,2 toneladas de matérias-primas.

Além disso, há muitos outros benefícios que a Economia Circular atrelado com a reciclagem do vidro pode trazer aos consumidores e as empresas. A Figura 8 mostra alguns desses benefícios.

<p><b>Benefícios para a economia</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduções de custo com matéria-prima;</li> <li>• Redução de riscos na volatilidade e suprimento de materiais no mercado;</li> <li>• Criação de oportunidades de novos negócios e crescimento nos setores primário, secundário e terciário;</li> <li>• Redução das externalidades; e</li> <li>• Estabelecimento de sistemas econômicos mais resilientes;</li> </ul> <p><b>Benefícios para consumidores</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhoria da qualidade dos produtos;</li> <li>• Redução da obsolescência programada;</li> <li>• Maior possibilidade de escolha; e</li> <li>• Benefícios secundários- por exemplo novas funções dos produtos.</li> </ul>	<p><b>Benefícios para as empresas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencial de lucro em novos negócios – Ex: atividades dos ciclos reversos;</li> <li>• Novas formas de relacionamento com clientes;</li> <li>• Oportunidades em novos modelos de negócio – Ex: remanufatura, reforma, etc;</li> <li>• Novas oportunidades de financiamento;</li> <li>• Criação de resiliência e vantagem competitiva;</li> <li>• Redução custos e riscos com matérias-primas;</li> <li>• Ganhos diretos com recuperação/ reciclagem dos materiais que eram descartados;</li> <li>• Redução da complexidade dos produtos e ciclos de vida mais gerenciáveis; e</li> <li>• Estímulo à inovação e ecodesign.</li> </ul>
--	--

**Figura 8 – Benefícios da Economia Circular em relação ao vidro.**

**Fonte: Ribeiro e Kruglianskas, 2014.**

Porém, por maiores que sejam os benefícios, nem sempre a Economia Circular é implementada, por isso ainda é um grande desafio, principalmente pela necessidade de uma mudança na escolha das coisas que consumimos, como consumimos e no modo de produção (RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2014).

#### 2.4 O mercado de rochas ornamentais no Brasil e seus impactos ambientais

A expansão comercial das rochas ornamentais e a decorrente diversificação das suas formas originaram com o processo gradual de mecanização da indústria de extração e beneficiamento no início do século XX. Desde então, devido as combinações e suas qualidades estruturais e estéticas, elas constituem um importante produto em várias áreas (ABIROCHAS, 2018).

Atualmente, aproximadamente 70% da produção mundial é transformada em chapas e ladrilhos para revestimentos, 15% é desdobrada em peças para arte funerária, 10% para obras estruturais e 5% para outros campos de aplicações. Estima-se que o consumo de rochas é de 600 milhões de m<sup>2</sup> por ano (ABIROCHAS, 2018).

As diversidades para as aplicações das rochas geram um conjunto de produtos bastante amplo, mas podem ser resumidamente em seis tipos principais: blocos, chapas, placas para revestimentos de paredes e ou fachadas, ladrilhos modulares, revestimentos de escadas e de pisos e obras dimensionais ou manufaturados (ABIROCHAS, 2018). A Figura 9 apresenta a repartição da produção, intercâmbio e consumo interno de rochas ornamentais entre os anos de 2012 e 2017.

Parâmetros	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Produção de Rochas Brutas	9.300	10.500	10.130	9.500	9.300	9.200
Importação de Rochas Brutas	26,8	28,2	27,0	20,3	19,3	22,1
Disponibilidade de Rochas Brutas	9.326,8	10.528,2	10.157,0	9.520,3	9.319,3	9.222,1
Exportação de Rochas Brutas	1.157,4	1.445,8	1.244,0	970,6	1.083,5	1.046,6
Rochas Brutas para Processamento	8.169,4	9.082,4	8.913,0	8.549,7	8.235,8	8.175,5
Rejeito de Processamento (41%)	3.349,5	3.723,8	3.654,0	3.505,4	3.360,9	3.352,0
Produção de Rochas Processadas	4.819,9	5.358,6	5.259,0	5.044,3	4.874,9	4.823,5
Importação de Rochas Processadas*	133,0	133,3	134,6	106,2	103,9	98,1
Disponibilidade de Rochas Processadas	4.952,9	5.491,9	5.393,6	5.150,5	4.978,8	4.921,6
Exportação de Rochas Processadas	1.070,0	1.279,8	1.303,2	1.353,0	1.375,4	1.311,5
Consumo Interno	3.882,9	4.212,1	4.090,4	3.797,5	3.603,4	3.610,1
Consumo em m <sup>2</sup> equivalente x 1.000.000**	71,89	78,00	75,7	70,3	66,7	66,9
Consumo per capita (m <sup>2</sup> x 2 cm espessura)***	0,39	0,39	0,37	0,34	0,32	0,32
Consumo per capita (kg)***	21,06	21,06	20,15	18,52	17,28	17,28

Figura 9 – Repartição da produção, intercâmbio e consumo interno de rochas ornamentais entre os anos de 2012 e 2017 (valores em 1.000 t).

Fonte: ABIROCHAS, 2018.

#### 2.4.1 Características econômicas do mercado de rochas ornamentais

As rochas ornamentais constituem uma das áreas mais promissoras no ramo dos minerais. A geração mundial de rochas ornamentais e revestimentos chegou a 116 milhões de toneladas em 2011, com variação positiva de 4% em relação a 2010. Um dos poucos setores que apresentou crescimento nas taxas anuais de produção no Brasil, (ABIROCHAS, 2018).

Estima-se que os negócios de setor movimentem pelo menos US\$ 17,96 bilhões/ano, disponibilizando ao mercado internacional cerca de 49,5 milhões de toneladas em rochas brutas. Do ponto de vista comercial, as rochas ornamentais e de revestimento são basicamente classificadas em granitos e mármore, que apresentam cerca de 90% da produção mundial. A média de preços internacionais para blocos de mármore e granitos, encontra-se entre US\$ 400 e US\$ 1.200 por metro cúbico, logo o preço médio do produto final, situa-se entre US\$ 30 e US\$ 60 por metro quadrado (ABIROCHAS, 2018).

### 2.4.2 Impactos ambientais relacionados à indústria de rochas ornamentais

Uma atividade altamente impactante, primeiramente se faz necessário o desmatamento da área onde ocorrerá a operação, junto a remoção do solo para tornar a lavra visível, o que ocasiona efeitos negativos na fauna e flora, além da poluição visual.

Observa-se em seguida um intenso movimento de máquinas, carros e caminhões acompanhados de ruídos e poeira, agravando-se quando a lavra entra em operação com as vibrações provocadas pelas fortes explosões e máquinas perfuratrizes, além dos cascalhos de pedras.

Mesmo o empreendimento tendo todas as licenças exigida na legislação e autorização para a operação, são inevitáveis esses impactos, sendo de responsabilidade do empreendedor cumprir a legislação, fazendo-se cumprir todas as etapas de recuperação da área para minimizá-los (GIACONI, 1998 *apud* SOUZA, 2007). A Figura 10 apresenta os principais impactos ambientais da extração de rochas.

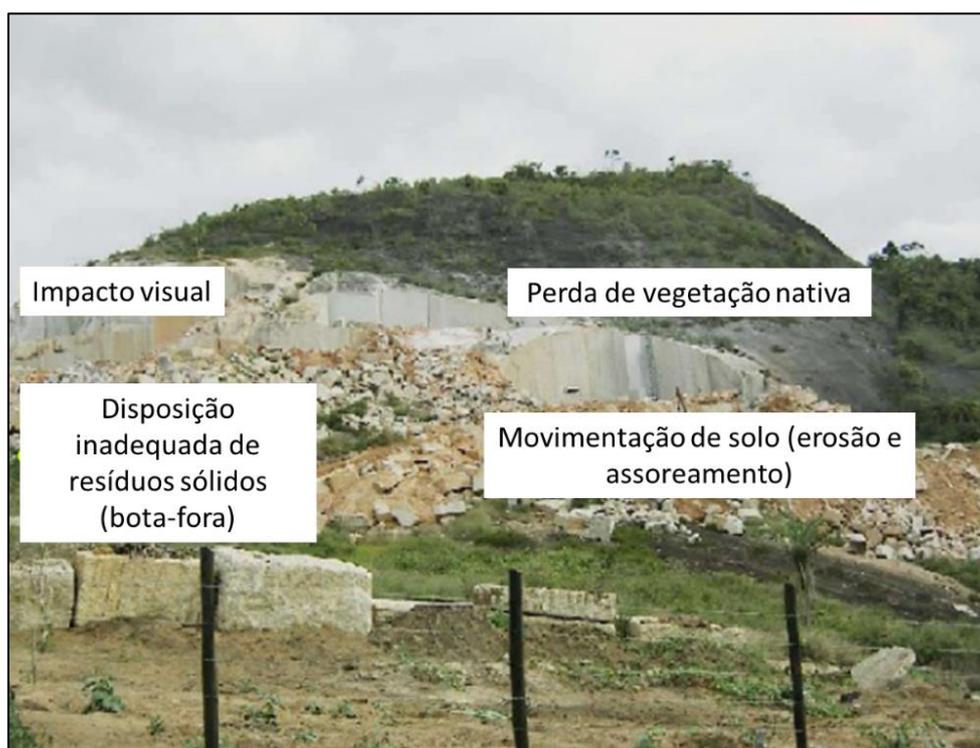


Figura 10 – Impactos ambientais na extração de rochas ornamentais.

Fonte: Souza, 2007 (adaptado).

### 2.4.3 Impactos ambientais no processo de beneficiamento primário

A lama abrasiva é constituída de água, gralha, cal e rocha moída. Se considerarmos que para produção de uma chapa de 2 cm de espessura, uma média de 20% a 25% do bloco é transformado em pó, o volume total de rejeitos gerado no processo de serragem é muito significativo. O armazenamento dessa lama nos tanques de depósitos de rejeitos contamina o solo, alterando as condições naturais do subsolo e do lençol de água subterrânea. Quando ocorre o lançamento direto nos rios, altera a cadeia biológica das espécies aquáticas ali presentes, bem como o assoreamento da via navegável, afetando socialmente a vida de pessoas que dependem desse ecossistema como fonte de renda. Além desse rejeito, existem os impactos produzidos no

meio ambiente através do ruído, das vibrações, da poeira, dos cascalhos de pedra, do desmatamento, do impacto visual negativo, provocado pela extração (SILVA, 1998 *apud* SOUZA, 2007).

#### 2.4.4 Impactos ambientais no processo de beneficiamento final

Esta é a etapa do processo onde são produzidas as chapas polidas para serem comercializadas dessa forma, ou cortadas como ladrilhos, pias, mesas, balcão e etc. Para se chegar a este acabamento (polido), as máquinas utilizam rebolos abrasivos, no qual seu atrito com a superfície da chapa refrigerada por água, produz uma lama abrasiva na qual vai sendo depositada em tanques. Da mesma forma que a etapa anterior, são gerados casqueiros, resultado do corte para dar forma a diversos produtos. A poluição sonora diminui em relação a etapa inicial, porém agrava a poluição atmosférica pelo fato de as partículas produzidas serem de menor granulometria (SOUZA, 2007).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho consistiu de um amplo levantamento bibliográfico e estudos de pesquisas acadêmicas publicadas em sites da internet, artigos científicos, anais de congressos, teses, dissertações, manuais e livros. Foram elaborados corpos de provas, cuja produção será elucidada mais a frente, tendo sido realizados ensaios físicos e mecânicos para caracterizar as propriedades desses materiais compostos.

#### 3.1 Materiais

- Cimento (~5,5 kg);
- Cal hidratada (~4 kg);
- Areia média lavada (~20 kg);
- Pedrinhas de aquário (~9 kg);
- Vidro reciclado triturado (~9 kg);
- Água;
- Moldes de plástico (para acondicionamento de alimentos);
- Colheres para padronização de medidas;

Vale ressaltar que os moldes de plástico não eram todos da mesma marca, logo não tinham as mesmas características, incluindo dimensões, porém eram semelhantes e possuíam a mesma finalidade comercial de acondicionamento de alimentos. A Figura 11 apresenta os materiais utilizados.

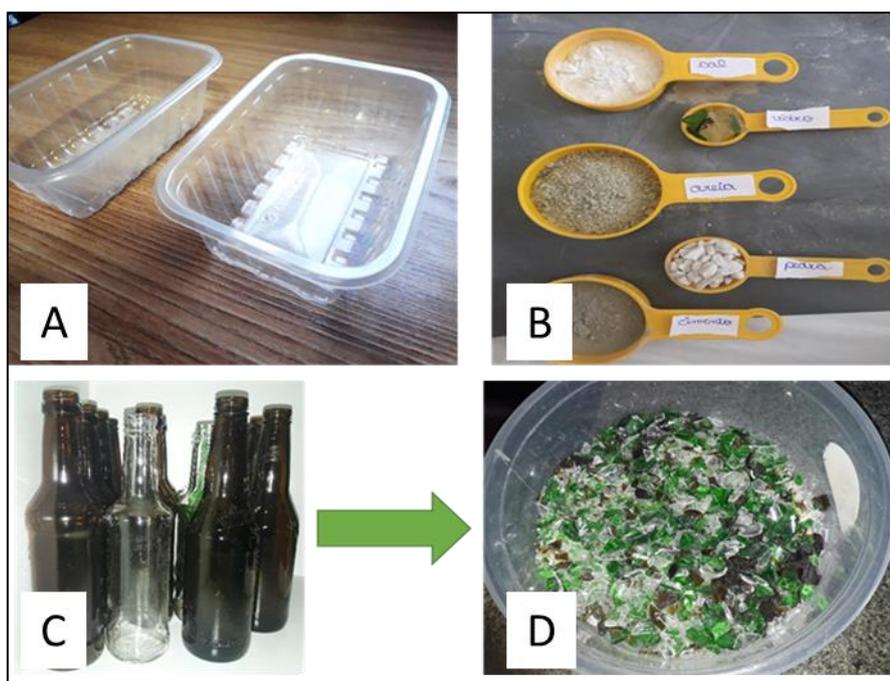


Figura 11 – Materiais utilizados, onde tem-se um dos modelos de molde plástico utilizado (A), medidas de materiais (B) e garrafas de vidro (C) que se tornaram vidro reciclado moído (D).

Fonte: autoria própria.

### 3.2 Medidas

Para a elaboração das medidas foram usadas colheres para realizar as medidas para os corpos de prova, apresentadas na Figura 12.

- Colher de sopa 20 g
- Colher de sobremesa 15 g
- Colher de chá 10 g
- Colher de café 5 g



Figura 12 – Colheres utilizadas como medidas: de sopa (1), de sobremesa (2), de chá (3) e de café (4).

Fonte: autoria própria.

Apesar de as colheres apresentadas na Figura 12 diferirem daquelas apresentadas na Figura 11, as colheres utilizadas como medida para um mesmo conjunto de peças de um determinado ensaio foram sempre as mesmas.

### 3.3 Procedimento

Para os experimentos foram elaborados 83 corpos de prova como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Quantidades de corpos de prova elaborados.

Corpos de prova	Quantidade
Branco	8
5%	8
10%	8
15%	8
20%	8
25%	8
30%	8
35%	8
40%	7
45%	6
50%	6

Fonte: autoria própria.

### 3.4 Elaboração dos corpos de prova

Para elaboração dos brancos foram necessários:

- 2 colheres de sopa de cimento;
- 2 colheres de sopa de cal hidratado;
- 4 colheres de sopa de pedra;
- 6 colheres de sopa de areia média;
- 50 ml de água.

As medidas em colheres foram padronizadas para os mesmos corpos de prova para um determinado ensaio, mas não são padronizadas para todos conjuntos. Primeiro foi colocado em um pote o cimento, a cal, areia e a pedra, depois foram adicionadas aos poucos a água e misturado até chegar na consistência desejada. A mistura foi colocada no molde de plástico, e após secar por 1 semana foram retirados dos moldes e secaram por aproximadamente 50 dias em local ventilado e sem incidência direta de luz solar.

Para a elaboração dos outros corpos de prova foi feita uma regra de três para saber quanto de vidro iria ser acrescentado no lugar das pedras, fazendo então a quantidade de pedras diminuir a cada porcentagem como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 – Massa de vidro e pedra em cada corpo de prova.

Corpos de prova	Massa de pedra (g)	Massa de vidro (g)
Branco	160	0
5%	152	8
10%	144	16
15%	136	24
20%	128	32
25%	120	40
30%	112	48
35%	104	56
40%	96	64
45%	88	72
50%	80	80

Fonte: autoria própria.

A Figura 13 mostra as etapas de produção até chegar ao resultado final.

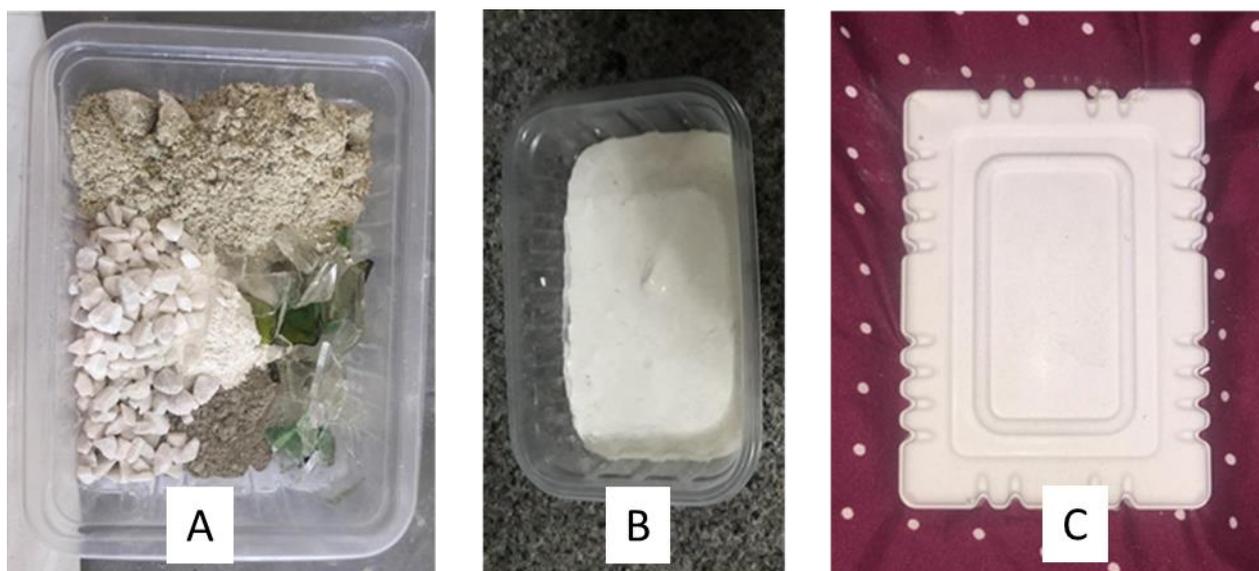


Figura 13 – Mistura dos materiais (A), mistura colocada no molde de plástico para secagem (B) e resultado final de um corpo de prova (C).

Fonte: autoria própria.

### 3.5 Ensaios para caracterização dos corpos de prova

Os corpos de prova foram caracterizados e testados através de: ensaio de geometria, ensaio de flexão, ensaio de absorção de água, ensaio de expansão por umidade e ensaio de impermeabilidade. O vidro utilizado na elaboração dos corpos de prova também teve sua granulometria caracterizada através de vibrador de peneiras de bancada, sendo que cada membro do grupo contribuiu com uma fração mássica do vidro caracterizado. Os resultados dos ensaios estão apresentados em tabelas e gráficos. Os ensaios de granulometria, geometria, absorção, expansão por umidade e impermeabilidade foram realizados nos Laboratórios Multiuso e de Química do Centro Universitário Senac Santo Amaro. O ensaio de flexão foi realizado no Laboratório de Metrologia / Laboratório de Design Industrial do Centro Universitário Senac Santo Amaro.

#### 3.5.1 Ensaio de granulometria do vidro utilizado na elaboração dos corpos de prova

O ensaio de granulometria do vidro foi realizado em Vibrador de Peneiras Eletromecânico de bancada da Marca SOLOTEST (tensão 220V), modelo 8x2. Pesagem da amostra total de vidro moído realizadas em Balança Digital, Marca Toledo, Modelo 3400/3, Série 11037402 (precisão de 1 g). Pesagem das amostras granulométricas de vidro moído, das peneiras, realizadas em Balança Digital de Precisão, Marca Shimadzu, Modelo AUY220 (precisão de 0,0001 g). Quantidade de vidro moído utilizada no ensaio (amostra total): 250 g. Tempo de agitação/vibração: 20 minutos. Frequência de vibração: 10 Hz. A Figura 14 apresenta o aparelho utilizado no ensaio.



Figura 14 – Ensaio de granulometria do vidro.

Fonte: autoria própria.

### 3.5.2 Ensaios de geometria

Corpos de prova do João, Andressa, Thaynara e Antonio mantidos em Estufa Marca FANEM (127V), modelo A-HT, por 12 horas a 40 °C e depois deixados esfriar por 3 horas até a temperatura ambiente interna do laboratório em 23 °C. Pesagem dos corpos de prova realizados em Balança Digital, Marca Toledo, Modelo 3400/3, Série 11037402 (precisão de 1 g). Ensaio de Geometria com medidas de comprimento, largura e altura dos corpos de prova realizados com Paquímetro Analógico 200mm, da Marca Digimess, Modelo 100.003. Referência do Ensaio: ABNT NBR 12142:2010 adaptada e ABNT NBR 13279:2005 adaptada. A Figura 15 apresenta o ensaio de geometria realizado.



Figura 15 – Ensaio de geometria.

Fonte: autoria própria.

### 3.5.3 Ensaios de flexão

Corpos de prova da Thaynara mantidos em Estufa Marca FANEM (127V), modelo A-HT, por 12 horas a 40 °C e depois deixados esfriar por 3 horas até a temperatura ambiente interna do laboratório em 23 °C. Pesagem dos corpos de prova realizados em Balança Digital, Marca Toledo, Modelo 3400/3, Série 11037402 (precisão de 1 g). Ensaio de Flexão realizado na Máquina Universal de Ensaios, Marca Oswaldo Filizola, Modelo AME-5KN; com célula de força Marca Vishay-Tedea-Huntleigh, Modelo 614; usando software DynaView Standard/Pro M. Referência do Ensaio: ABNT NBR 12142:2010 adaptada e ABNT NBR 13279:2005 adaptada. Velocidade de posicionamento-ensaio: 50 mm/min. A Figura 16 apresenta o ensaio de flexão.

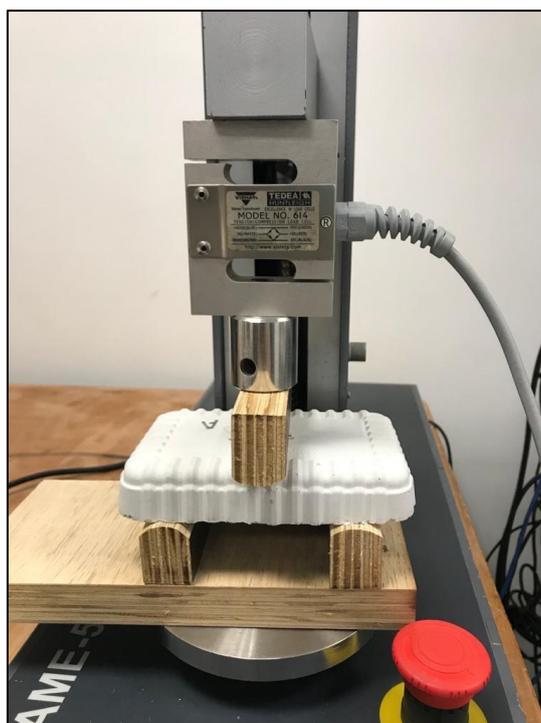


Figura 16 – Ensaio de flexão.

Fonte: autoria própria.

#### 3.5.4 Ensaios de absorção de água

Corpos de prova da Andressa mantidos em Estufa Marca FANEM (127V), modelo A-HT, por 12 horas a 40 °C e depois deixados esfriar por 3 horas até a temperatura ambiente interna do laboratório em 23 °C. Pesagem dos corpos de prova realizadas em Balança Digital, Marca Toledo, Modelo 3400/3, Série 11037402 (precisão de 1 g), sendo M1 a massa seca, isto é, o peso em gramas com o corpo de prova seco, antes da submersão e M2 a massa saturada, isto é, o peso em gramas após o corpo de prova ficar submerso na água por um período de 12h a temperatura ambiente do laboratório de 23 °C. Referência do Ensaio: ABNT NBR 9779:2012 adaptada. Absorção de Água (Abs) =  $((M2 - M1) / M1) * 100$ . A Figura 17 apresenta o ensaio de absorção de água.



Figura 17 – Ensaio de absorção de água.

Fonte: autoria própria.

### 3.5.5 Ensaios de expansão por umidade

Corpos de prova do João mantidos em Estufa Marca FANEM (127V), modelo A-HT, por 12 horas a 40 °C e depois deixados esfriar por 3 horas até a temperatura ambiente interna do laboratório em 23 °C. Medidas de comprimento realizadas com Micrômetro Externo Digital 150-175mm/0,001mm, da Marca Mitutoyo, Modelo 293-252-30, sendo L0 o comprimento do corpo de prova seco, antes da submersão e L1 o comprimento do corpo de prova saturado, isto é, o comprimento em mm após o corpo de prova ficar submerso na água por um período de 12h a 75 °C. Referência do Ensaio: ABNT NBR 9779:2012 adaptada. Expansão por Umidade (EU) =  $((L1 - L0) / L0) * 100$ . A Figura 18 apresenta o ensaio de expansão por umidade.



Figura 18 – Ensaio de expansão por umidade.

Fonte: autoria própria.

### 3.5.6 Ensaios de impermeabilidade

Corpos de prova do Antonio mantidos em Estufa Marca FANEM (127V), modelo A-HT, por 12 horas a 40 °C e depois deixados esfriar por 3 horas até a temperatura ambiente interna do laboratório em 23 °C. Ensaio qualitativo de Impermeabilidade, baseado na adição de água na parte superior do corpo de prova e subsequente observação do aparecimento de umidade em Papel Filtro Quantitativo, Marca Whatman, Modelo G42 90 mm. Referência do Ensaio: ABNT NBR 9779:2012 adaptada. Teste de presença X ausência de mancha de umidade no papel filtro e diâmetro relativo da mancha de umidade. A Figura 19 apresenta este ensaio.

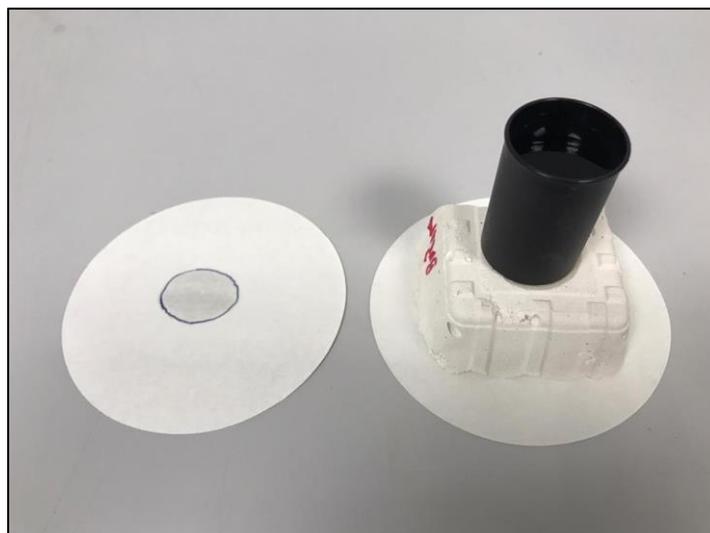


Figura 19 – Ensaio de impermeabilidade.

Fonte: autoria própria.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Ensaio de granulometria do vidro utilizado na elaboração dos corpos de prova

A Tabela 5 apresenta os resultados do ensaio de granulometria do vidro utilizado.

Tabela 5 – Resultados do ensaio de granulometria do vidro utilizado.

Peneiras (mm)	Massa de vidro retida na peneira (g)	Fração (%)
19,0	0,0	0,0
9,5	42,14	16,88
4,75	121,27	48,57
2,36	56,96	22,82
2,0	6,75	2,70
1,18	9,28	3,72
0,6	5,66	2,27
0,425	1,58	0,64
0,3	1,04	0,42
0,15	2,13	0,85
0,075	2,04	0,82
Fundo	0,78	0,32
Total	249,68	100,0

Fonte: autoria própria.

A partir dos resultados desse ensaio ficou evidenciado que quase metade dos cacos de vidro utilizados possuem diâmetro entre 9,5 mm e 4,75 mm; 16,88% possui diâmetro maior que 9,5 mm; e 22,82% possuem diâmetro entre 4,75 mm e 2,36 mm.

### 4.2 Ensaios de geometria

A Figura 20 apresenta os resultados do peso médio dos corpos de prova de cada membro do grupo.

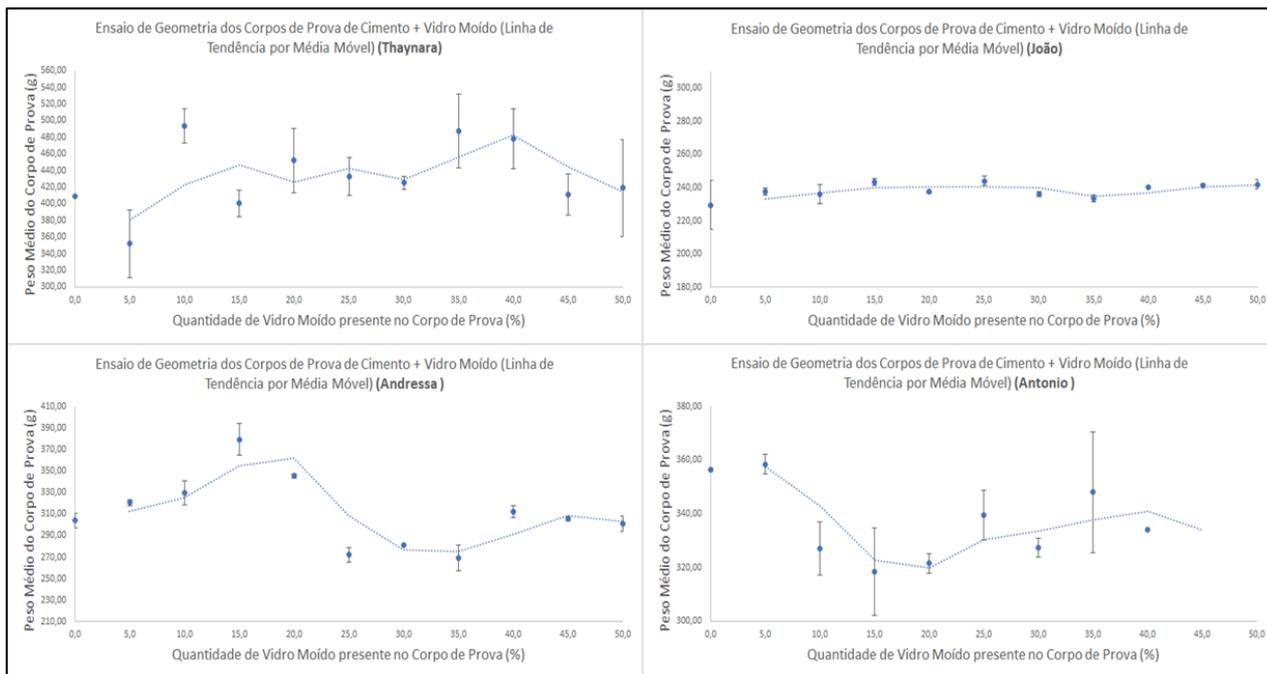
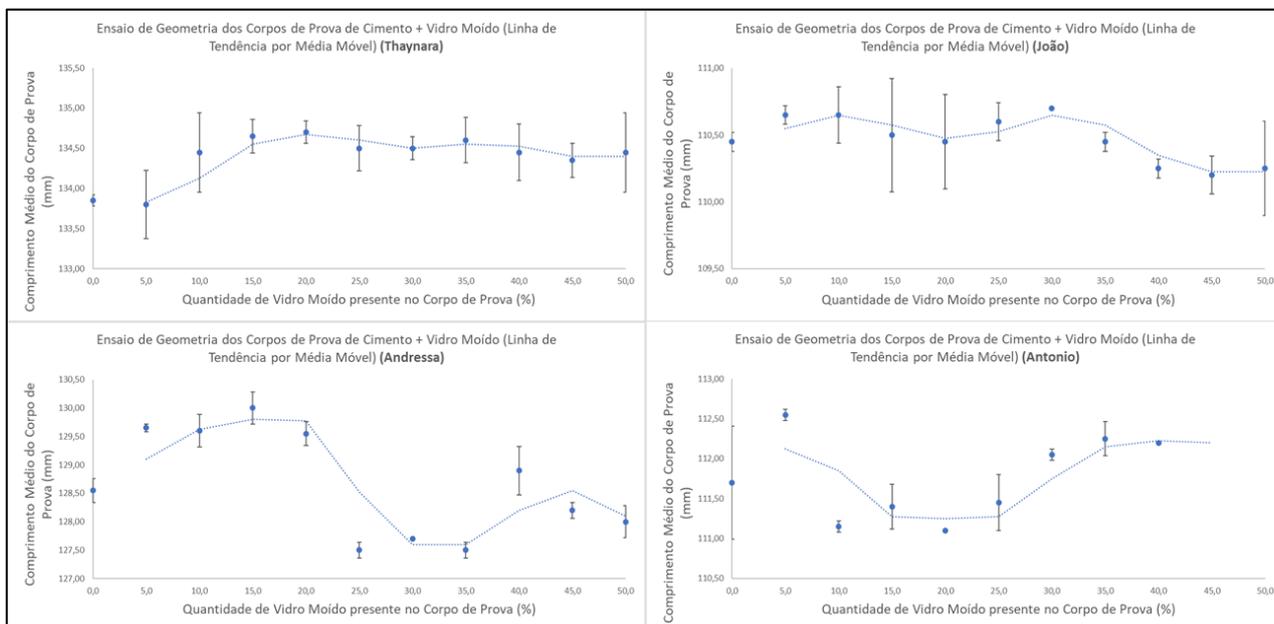


Figura 20 – Peso médio dos corpos de prova de cada membro do grupo.

Fonte: autoria própria.

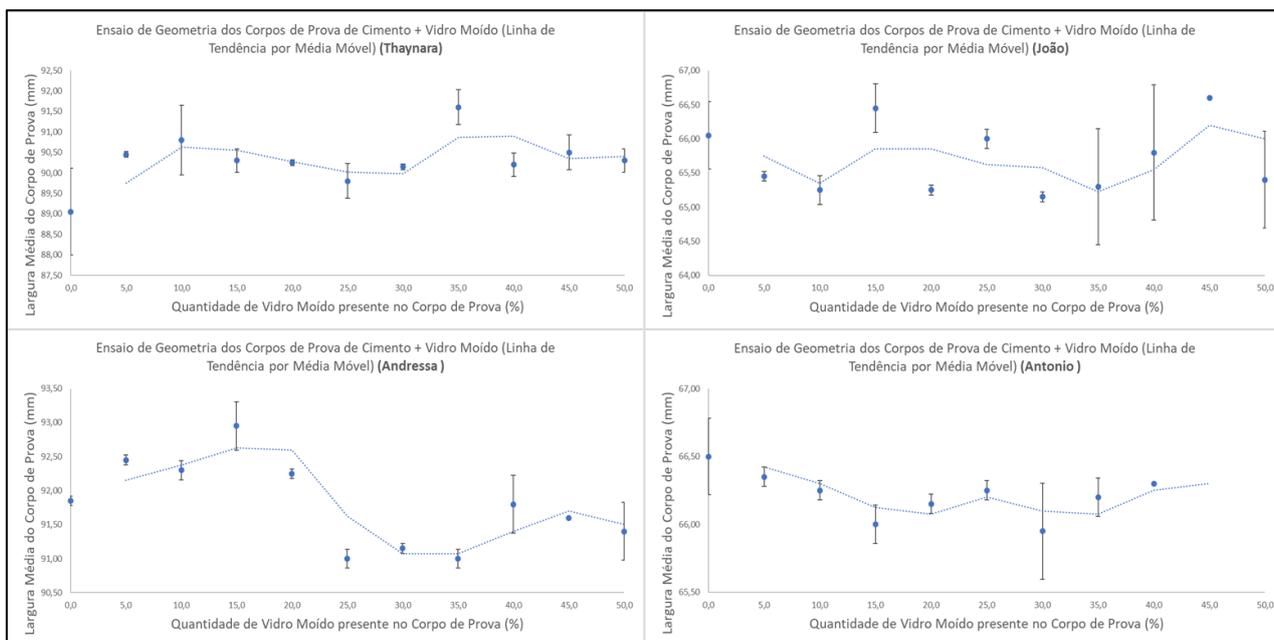
A Figura 21 apresenta os resultados do comprimento médio dos corpos de prova de cada membro do grupo.



**Figura 21 – Comprimento médio dos corpos de prova de cada membro do grupo.**

Fonte: autoria própria.

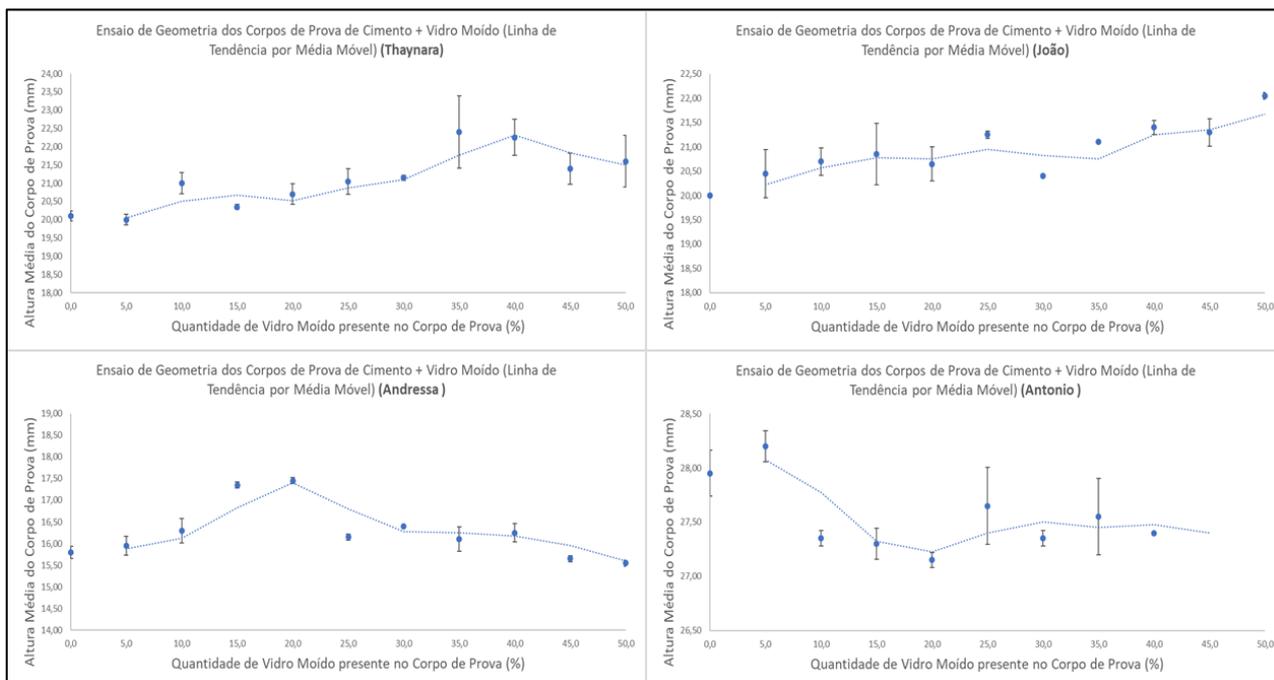
A Figura 22 apresenta os resultados da largura média dos corpos de prova de cada membro do grupo.



**Figura 22 – Largura média dos corpos de prova de cada membro do grupo.**

Fonte: autoria própria.

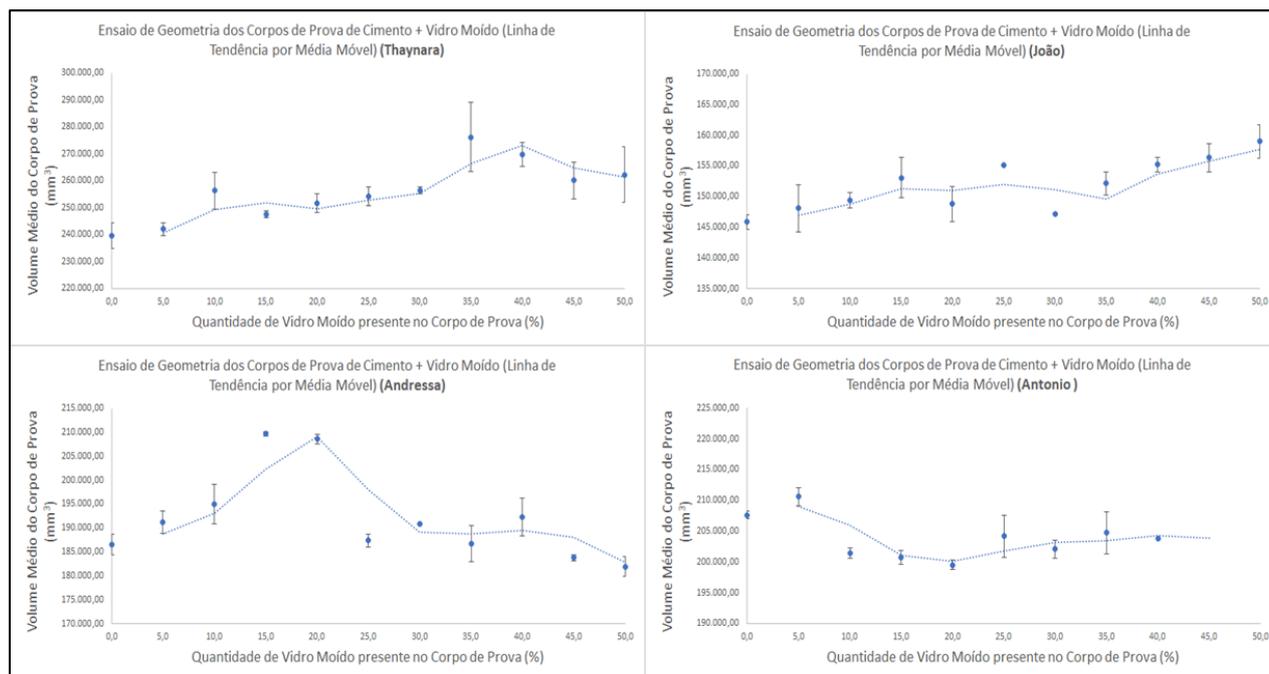
A Figura 23 apresenta os resultados da altura média dos corpos de prova de cada membro do grupo.



**Figura 23 – Altura média dos corpos de prova de cada membro do grupo.**

Fonte: autoria própria.

A Figura 24 apresenta os resultados do volume médio dos corpos de prova de cada integrante do grupo, em  $\text{mm}^3$ . Os volumes dos corpos de prova foram obtidos pela multiplicação de comprimento pela largura pela altura, em milímetros.



**Figura 24 – Volume médio dos corpos de prova de cada membro do grupo.**

**Fonte: autoria própria.**

A partir dos resultados dos ensaios de geometria se observa que há variações consideráveis nos pesos e volumes, conseqüentemente nas medidas de comprimento, largura e comprimento, dos corpos de prova tanto daqueles produzidos por uma mesma pessoa, quanto entre os membros do grupo. Isso indica que há necessidade de refinamento e unificação da metodologia de preparação dos corpos de prova. As variações apresentadas nos ensaios de geometria podem afetar os ensaios de expansão por umidade, uma vez que estes são baseados na expansão das dimensões dos corpos de prova devido à umidade.

### 4.3 Ensaios de flexão

A Figura 25 apresenta os resultados dos ensaios de flexão, que foram realizados com os corpos de prova da Thaynara.

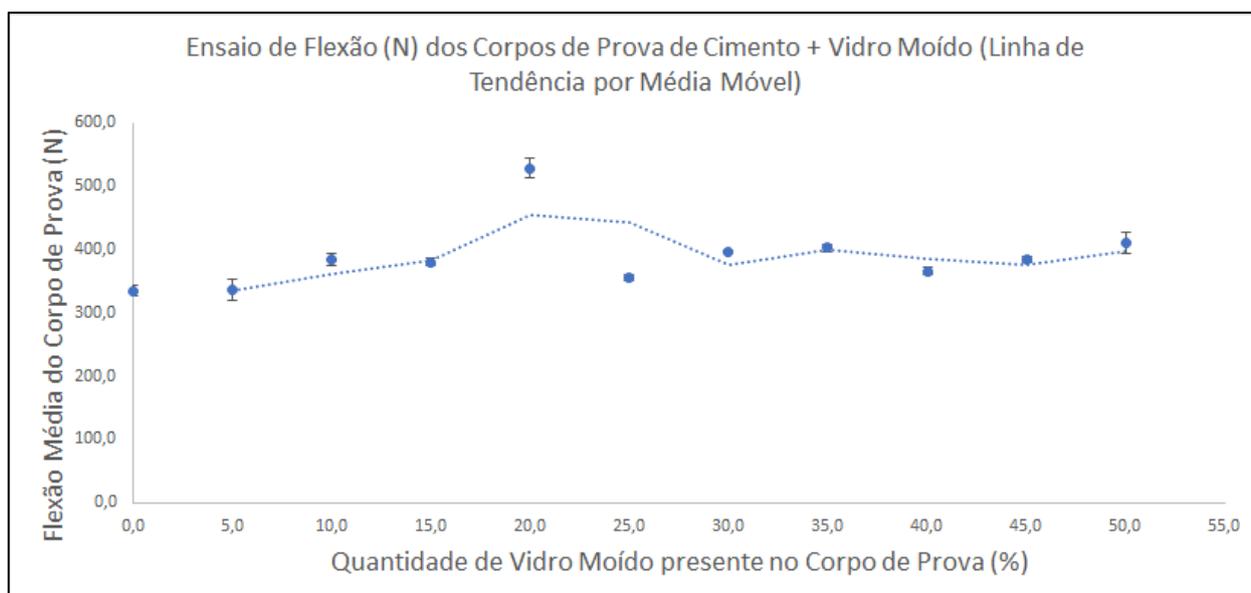


Figura 25 – Resultados dos ensaios de flexão.

Fonte: autoria própria.

Os resultados dos ensaios de flexão são promissores, uma vez que todos os corpos de prova apresentaram flexão média entre 300 N e 400 N, exceto os corpos de prova com 20% de vidro moído, que apresentaram flexão média de cerca de 500 N. Isso indica que a substituição de pedra por vidro moído não afetou a resistência dos corpos de prova, e que, provavelmente, há um ganho de resistência quando se substitui 20% da massa de pedra por vidro moído. Este resultado pode significar que a proposta possui viabilidade técnica. Porém, os resultados são baseados na média simples de dois corpos de prova para cada porcentagem de vidro, logo é necessário realizar mais ensaios para confirmação dos resultados apresentados e possibilitar discussões mais aprofundadas.

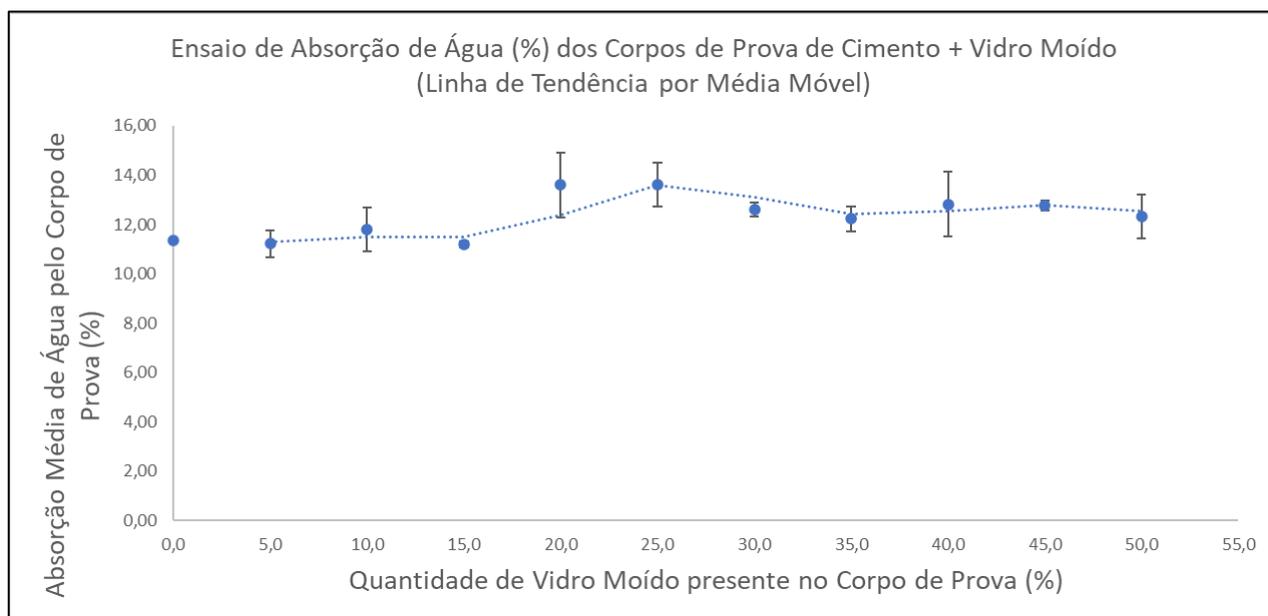
Em estudos realizados com a utilização de vidro como agregado fino, seja em substituição de areia ou de cimento, López, Azevedo e Barbosa (2005), Benatti e Azambuja (2016) e Barros (2016) obtiveram resultados promissores para ensaios de flexão, tensão de ruptura e compressão axial e diametral. Os resultados apresentados por esses autores indicaram que o vidro como agregado fino conferiu um aumento de resistência aos corpos de prova utilizados nos ensaios, principalmente em proporções de 5% a 20% (mássica).

Já para a utilização de vidro como agregado graúdo em concreto em substituição à brita convencional, Pereira (2016) obteve resultados promissores. Os resultados apresentados pelo autor mostram um aumento da resistência por compressão e tração diametral, sobretudo na proporção de 20% (mássica). Além disso, o autor reportou que os resultados para diferentes substituições mássicas de brita por vidro apresentaram ligeiro aumento da resistência em relação à composição de referência.

Os resultados do ensaio de flexão apresentados na Figura 24 estão alinhados aos resultados apresentados pelos autores citados no que se refere ao aumento de resistência na proporção mássica de 20% de vidro e ligeiro aumento de resistência em outras proporções em relação à composição de referência (branco).

#### 4.4 Ensaios de absorção de água

A Figura 26 apresenta os resultados dos ensaios de absorção de água, que foram realizados com os corpos de prova da Andressa.



**Figura 26 – Resultados dos ensaios de absorção de água.**

Fonte: autoria própria.

Assim como observado nos resultados dos ensaios de flexão, os resultados dos ensaios de absorção mostram que a quantidade de vidro moído incorporada aos corpos de prova não afetou a absorção de água pelos mesmos, contribuindo para a viabilidade técnica da proposta. Observa-se que o corpo de prova com 20% de vidro apresenta maior absorção de água do que o branco em no máximo 4%, considerando as incertezas experimentais.

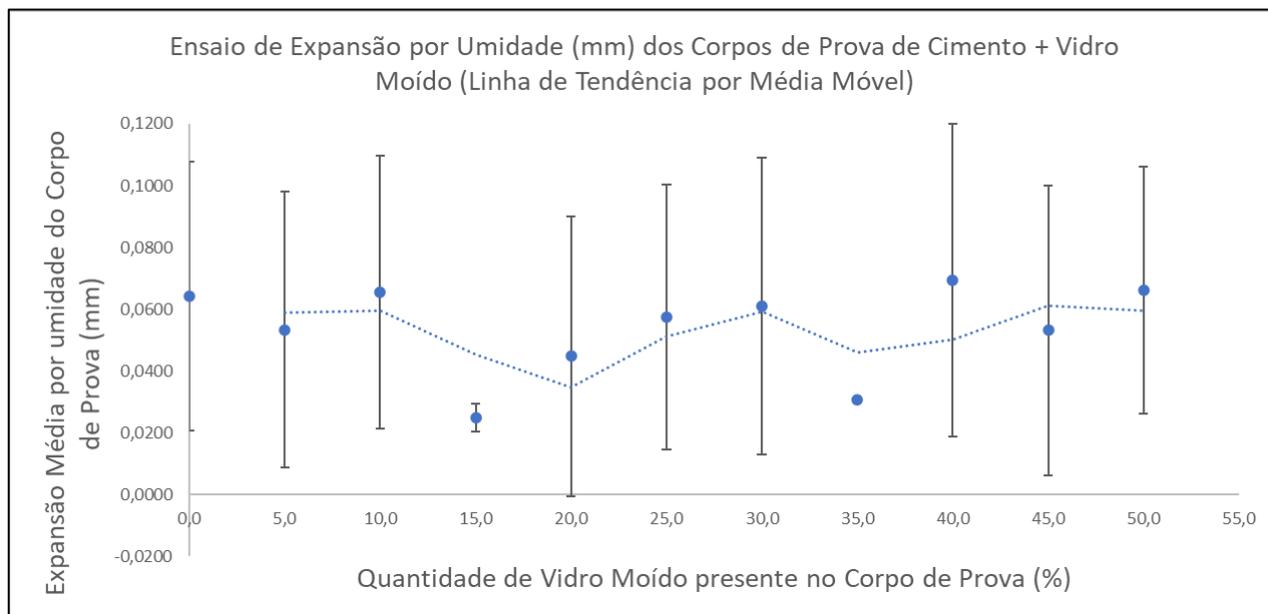
Para ensaios de absorção de água em que os estudos utilizaram vidro como agregado fino, López, Azevedo e Barbosa (2005) obtiveram diminuição gradual da absorção de água pelos corpos de prova com o aumento da porcentagem mássica de vidro, sendo que na proporção de 20% obtiveram absorção 4% menor em relação ao corpo de prova de referência. Já nos ensaios realizados por Benatti e Azambuja (2016), todos os corpos de prova com porcentagem de vidro apresentaram maior absorção de água em relação ao corpo de prova de referência, porém esse aumento não passa de 2%.

Na utilização de vidro como agregado graúdo, os ensaios realizados por Pereira (2016) mostraram que os corpos de prova com vidro apresentaram absorção de água consideravelmente maior em relação à referência, com exceção dos corpos de prova com 20% e 100% de vidro, que apresentaram absorção de água menor que a referência.

Os resultados apresentados na Figura 25 e pelos autores citados indicam que, apesar de haver maior absorção de água em função do aumento de vidro do corpo de prova, a proporção de 20% mássica de vidro apresenta aumento de apenas 2% a 4% em relação à mistura de referência.

#### 4.5 Ensaios de expansão por umidade

A Figura 27 apresenta os resultados dos ensaios de expansão por umidade, que foram realizados com os corpos de prova do João.



**Figura 27 – Resultados dos ensaios de expansão por umidade.**

Fonte: autoria própria.

Nos ensaios de expansão por umidade a quantidade de vidro moído incorporada aos corpos de prova também não apresentou influência significativa, contribuindo para a viabilidade técnica do produto proposto. Entretanto, há a necessidade de realizar mais ensaios para confirmação destes resultados e possibilitar discussões mais aprofundadas, uma vez que as incertezas experimentais de todas as proporções de vidro se sobrepõem, não permitindo uma comparação estatisticamente confiável.

#### 4.6 Ensaios de impermeabilidade

A Figura 28 apresenta os resultados dos ensaios de impermeabilidade, que foram realizados com os corpos de prova do Antonio.

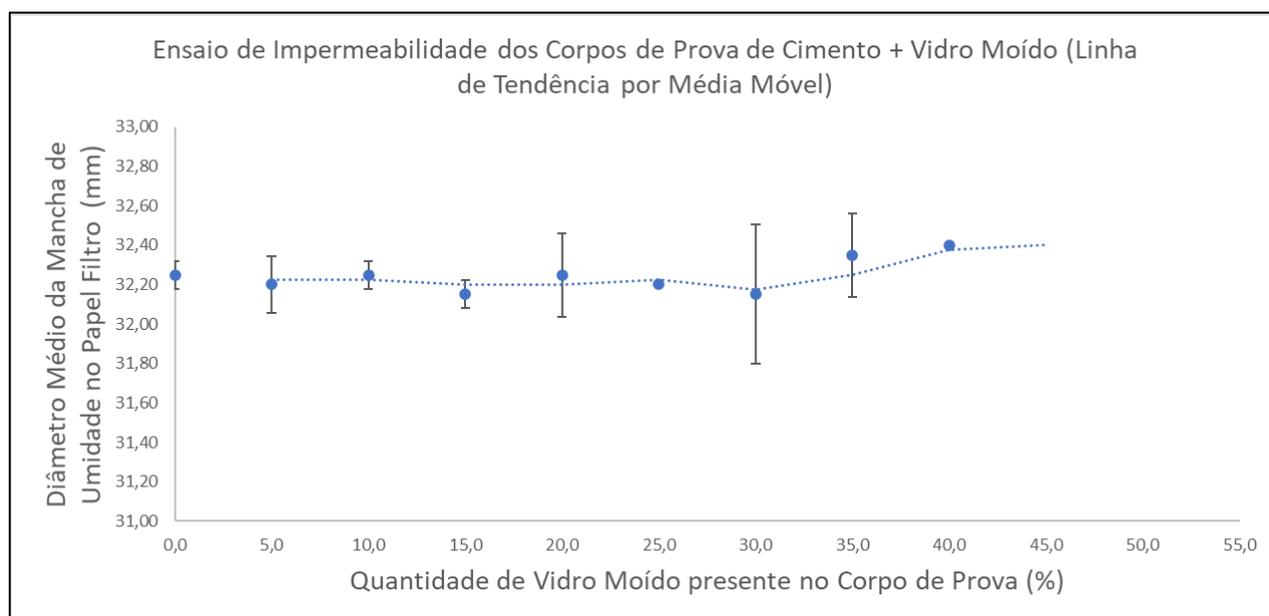


Figura 28 – Resultados dos ensaios de impermeabilidade.

Fonte: autoria própria.

Para os ensaios de impermeabilidade foi verificado que a quantidade de vidro moído incorporada aos corpos de prova também não exerce influência significativa nos resultados. Por outro lado, todos os corpos de prova se apresentaram permeáveis, fato evidenciado pela mancha de umidade, sobretudo nos corpos de prova com 35% e 40% de vidro. Para a finalidade a que se destina esta pesquisa, utilização como tampos e bancadas, a permeabilidade é uma característica indesejada, sendo necessário a realização de mais ensaios.

#### 4.7 Análise dos resultados

Os resultados dos ensaios realizados e daqueles apresentados por outros autores se mostraram promissores, principalmente no que tange à resistência dos corpos de prova e absorção de água, apesar de serem necessários mais ensaios para confirmação. A proposta possui potencial de contribuição à Economia Circular através da reutilização de resíduos recicláveis, nesse caso o vidro. Uma pessoa comum poderia fazer esse produto em sua própria casa em maior escala como forma de empreender, uma vez que possui metodologia simplificada de fabricação, materiais baratos e de fácil aquisição, apesar desta necessitar de ajustes subsidiados por resultados de mais ensaios. Para determinação de viabilidade econômica do produto é necessário realizar um levantamento do custo total de todos os materiais utilizados em sua fabricação (inclusive consumo de água), tempo despendido na produção e preço final com margem de lucro, mas essa análise está além do escopo deste artigo.

Em outros estudos, López, Azevedo e Barbosa (2005), Benatti e Azambuja (2016) e Barros (2016) concluem que a substituição de vidro em misturas de concreto se mostra possivelmente viável tecnicamente. Pereira (2016) ainda comenta que, além da viabilidade técnica, os corpos de prova com 100% de vidro graúdo apresentaram aspecto diferenciado, com potencial de uso arquitetônico após o devido polimento.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluindo, é possível afirmar que, com base nos resultados apresentados e na discussão com estudos realizados por outros autores, apesar das variações geométricas consideráveis, que a proposta tem potencial viabilidade técnica como produto gerador de economia circular, uma vez que a porcentagem de vidro moído incorporada aos corpos de prova não exerceu influência negativa significativa em características de resistência à flexão, absorção de água, expansão por umidade e impermeabilidade. Para proporções mássicas de 20% de vidro em substituição a brita, areia, ou cimento, verifica-se um aumento da resistência dos corpos de prova e possível diminuição da absorção de água.

Entretanto, é necessário haver um refinamento da metodologia de preparação dos corpos de prova e realização de mais ensaios, para confirmação dos resultados apresentados e assegurar a viabilidade técnica da proposta, uma vez que para cada ensaio foram utilizados corpos de prova que não tiveram a mesma fabricação, logo não tinham as mesmas características. Além disso, foram realizadas médias simples de apenas dois corpos de prova, sendo necessário haver ensaios com mais replicatas para resultados estatisticamente significativos e confiáveis.

## REFERÊNCIAS

1. ABIROCHAS (Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais). **O setor brasileiro de rochas ornamentais**. Brasília, 2018. Disponível em: [http://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2018/06/abinoticias/Setor\\_de\\_Rochas\\_Ornamentais.pdf](http://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2018/06/abinoticias/Setor_de_Rochas_Ornamentais.pdf) Acesso em: 17/09/2020.
2. ABIVIDRO (Associação Brasileira das Indústrias de Vidro). **Vidro: o resíduo infinitamente reciclável**. 2019. Disponível em: <https://abividro.org.br/2019/02/07/vidro-o-residuo-infinitamente-reciclavel/> Acesso em: 13/09/2020.
3. ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2019. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/> Acesso em: 10/09/2020.
4. AMBEV (Companhia de Bebidas das Américas). **Resíduo zero e clima**. s/d. Disponível em: <https://www.ambev.com.br/sustentabilidade/residuo-zero-e-clima/> Acesso em: 13/09/2020.
5. ASSIS, O. B. G. O uso de vidro reciclado na confecção de membranas de microfiltração. **Cerâmica**, vol. 52, n. 321, jan/mar, São Paulo, 2006.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 12142: Concreto – determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2010.
7. \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2005.
8. \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2012.
9. BARROS, L. M. **Concreto de alta resistência a partir de matérias-primas amazônicas e vidro reciclado**. Tese (Doutorado) – USP-EESC. São Carlos, 2016.

10. BENATTI, L. B.; AZAMBUJA, M. A. Reciclagem de vidro como alternativa para concreto. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, vol. 4, n. 26, p. 16-27, 2016.
11. CAMARATE, D. J. B. L. **Incorporação de vidro reciclado em betões**: análise da influência do processo de amassadura no agregado reciclado de vidro. Dissertação de Mestrado (Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias). Lisboa, 2016.
12. CARDOSO, G. **Estudo da cadeia de reciclagem de vidro**: perspectivas para os municípios da região carbonífera (AMREC) a partir da Economia Circular. 2014. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/6947/1/GI%3%a1ucia%20Cardoso%20de%20Souza-Dal%20B%3%b3.pdf> Acesso em: 13/09/2020.
13. GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Resíduos Sólidos**. 2014. Disponível em: <http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/cea/2014/11/6-RES%C3%8DDUOS S%C3%93LIDOS.pdf> Acesso em: 13/09/2020.
14. LÓPEZ, D. A. R.; AZEVEDO, C. A. P.; BARBOSA, E. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino. **Cerâmica**, v. 51, n. 320, São Paulo, 2005.
15. MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 6ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2016.
16. PEREIRA, A. R. **Avaliação da utilização de vidro comum como pozolana e avaliação da utilização de sucata de vidro temperado como agregado graúdo em concretos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016.
17. PREFEITURA DE SÃO PAULO. **PGIRS – SP**: Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da cidade de São Paulo. São Paulo, 2014.
18. RIBEIRO, F.; KRUGLIANSKAS, I. **A Economia Circular no contexto europeu**: Conceito e potenciais de contribuição na modernização das políticas de resíduos sólidos. 2014. Disponível em: <https://www.engema.org.br/XVIENGEMA/473.pdf> Acesso em: 12/09/2020.
19. SOMAVANTAGENS. **Economia Linear vs. Economia Circular**. 2019. Disponível em: <https://blog.somosasoma.com.br/index.php/2019/09/20/economia-linear-vs-economia-circular/> Acesso em: 14/09/2020.
20. SOUZA, J.G. **Análise ambiental do processo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais com vistas a uma produção mais limpa**: aplicação em Cachoeiro de Itapemirim – ES. Trabalho de conclusão de curso, Faculdade de Engenharia da UFJF. Juiz de Fora, 2007.
21. VARGAS, I. M.; WIEBECK, H. Reciclagem de vidro laminado: utilização dos vidros de baixa granulometria como carga abrasiva na formulação de vernizes de alto tráfego para pisos de madeira. **Polímeros**, vol. 17, n. 2, abr/jun, São Carlos, 2007.
22. WHEATON. **Reciclagem do vidro**. s/d. Disponível em: <https://www.wheaton.com.br/responsabilidade-ambiental/reciclagem-do-vidro/> Acesso em: 13/09/2020.

## ELABORAÇÃO E ANÁLISE DE AQUECIMENTO DE UM AQUECEDOR DE ÁGUA POR ENERGIA SOLAR DE BAIXO CUSTO COM O FOCO EM VIDRO

Machado, Beatriz Tomazini; Silva, Juliana Maria; Damasio, Lucas Lazaro; Shimabuk, Rafael Eihati Athiê, Alessandro Augusto Rogick

Engenharia Ambiental e Sanitária, Centro Universitário Senac

<http://www.divulgacaocientifica.sp.senac.br/sua/>

### RESUMO

O presente Projeto trata do desenvolvimento de um aquecedor de água por energia solar utilizando garrafas de vidro recicladas e materiais de baixo custo, com o objetivo de analisar a eficiência de aquecimento deste sistema; considerando cores distintas de vidro (transparente, verde e âmbar). Sendo uma continuidade do PI V, o projeto também visou maneiras de gerar economia circular no bairro de Interlagos. O projeto do aquecedor foi baseado em Aloano (2008), adaptando o modelo com garrafas PETs para garrafas de vidro. O protótipo conta com um sistema de tubulação de CPVC inseridas em 4 colunas de vidro com cores distintas (2

transparentes, 1 verde e 1 âmbar) sendo cada coluna composta de 4 garrafas da mesma cor. Os dados foram obtidos através das coletas das temperaturas da água de entrada, saída e de cada coluna e comparado com dados meteorológicos fornecidos pelo INMET da estação SESC-Interlagos localizada em 46.68W 23.72S como: radiação, umidade e temperatura ambiente. O aquecedor apresentou um bom resultado no aquecimento, entretanto, para melhorar a eficiência faz-se necessário incluir um sistema de armazenamento de água quente que permita maior volume para utilização e a realização de monitoramento em diferentes estações do ano.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aquecedor; Energia Solar; Baixo Custo.

### PREPARATION AND ANALYSIS OF HEATING OF A LOW-COST SOLAR WATER HEATER WITH THE FOCUS ON GLASS

#### ABSTRACT

This Project deals with the development of a solar energy water heater using recycled glass bottles and low cost materials, in order to analyze the heating efficiency of this system; considering distinct glass colors (transparent, green and amber). Being a continuation of PI V, the project also aimed at ways to generate circular savings in the Interlagos neighborhood. The heater project was based in Aloano (2008), adapting the model with PET bottles for glass bottles. The prototype has a CPVC piping system inserted in 4 glass columns with distinct colors (2 transparent, 1 green and 1 amber)

being each column composed of 4 bottles of the same color. The data were obtained by collecting the temperatures of the inlet, outlet and each column and compared with meteorological data provided by INMET from the SESC-Interlagos station located at 46.68W 23.72S as: radiation, humidity and room temperature. The heater presented a good result in heating, however, to improve efficiency it is necessary to include a hot water storage system that allows greater volume for use and monitoring in different seasons of the year.

**KEYWORDS:** Heater; Solar energy; Low cost.

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho refere-se há uma continuidade e desmembramento do Projeto Integrador V, onde foi criado um plano de negócios que tinha como objetivo o desenvolvimento um projeto para gerar uma economia circular no Bairro de Interlagos, tendo como premissa a utilização do vidro como matéria prima solicitada pelos clientes (AMBEV e SBI), em busca de uma melhora para o cenário atual da matriz energética do país e visando aumentar a taxa de reaproveitamento deste material. Com base nisso, o objetivo deste projeto é criar um sistema de aquecedor solar de baixo custo, com a utilização de garrafas de vidro.

Com a crise mundial do petróleo em 1973 e o subsequente aumento nos preços da eletricidade, o aquecedor solar resulta como uma importante alternativa energética utilizada para o fornecimento de água quente em piscinas, chuveiros elétricos ou para fins domésticos gerais (LINO & ISMAIL, 2010 *apud* HINRICHS & KLEINBACH, 2004).

Atualmente a matriz energia energética mundial é composta por 13% de fontes renováveis e 87% não renováveis (CÂMARA DOS DEPUTADOS, *apud* IEA, 2011). A matriz energética brasileira é tida como limpa e contrapõe o cenário mundial, por se composta 85% de hidroelétrica (LOSEKANN, HALLACK, 2016). Porém, há uma necessidade de complementação para evitar a sobrecarga da matriz, aliado ao fato de a luz solar ser uma fonte limpa e renovável (MARQUES, 2014), e pelo fato do país esta situado nas proximidades da Linha do Equador, há uma grande viabilidade de instalação de painéis solares, devido ao potencial de insolação (CABRAL; TORRES; SENNA, 2013). A energia solar deve ganhar espaço na matriz de energia elétrica brasileira ao longo dos próximos anos (MARQUES, 2014).

Para melhorar a eficiência de absorção energética é recomendado que o equipamento seja ajustado de acordo com a latitude local e levar em conta o período do ano. No Hemisfério Sul, por exemplo, um sistema de captação solar fixo deve ser orientado para o norte, com ângulo de inclinação similar ao da latitude local (ANEEL, 2002).

A geração per capita de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil em 2017 foi de 78,4 milhões de toneladas, e apenas 3% deste resíduo coletado foi encaminhado para reciclagem via coleta seletiva, desses em média por material foi de: 65% de papel, 17% de plástico, 10% de vidro e 8% de metais (ABRELPE, 2017).

Em busca de atender ambas as questões, o projeto tem o objetivo de desenvolver um aquecedor de água por energia solar baseado na metodologia do “Manual de Aquecedor Solar Composto Com Materiais Recicláveis” realizado por Aloano em 2008, com a finalidade de utilizar materiais de fácil acesso a população local, e os reaproveitar de forma sustentável, além de ser uma alternativa para a redução de consumo de energia elétrica. Porém a metodologia sofreu algumas adaptações para atender as demandas dos clientes/parceiros e ao invés de utilizar garrafas pet como material principal, utilizaram-se garrafas de vidro, sendo testadas 3 cores distintas (âmbar, verde e transparente).

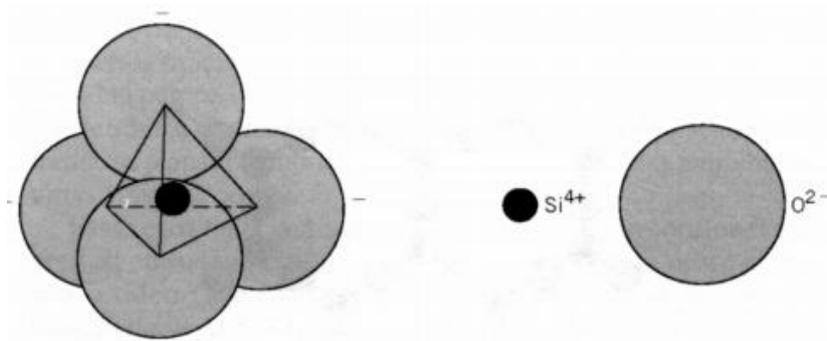
## 2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

A revisão bibliográfica compreendeu os conceitos que abordam os principais temas da pesquisa, isto é, o vidro, aquecedores solares e os tipos mais comuns presentes no mercado.

### 2.1 Vidro

É uma substância inorgânica, amorfa e física homogênea, com resfriamento da massa em fusão endurecendo com aumento contínuo a viscosidade até atingir a condição de rigidez, sem sofrer cristalização. A indústria restringe o conceito vidro ao produto resultante da fusão, pelo calor, de óxidos e seus derivados e misturas, constituindo principalmente a sílica ou o óxido de silício (MAIA, 2003; KANVASFER, 2011)

A unidade estrutural básica da maioria das formas da sílica e dos silicatos é um arranjo tetraédrico de 4 átomos de oxigênio ao redor de um átomo de silício centralizado, silício tetraédrico,  $\text{SiO}_4$  (ALVES, GIMENEZ e MAZALI, 2001; KANVASFER, 2011).



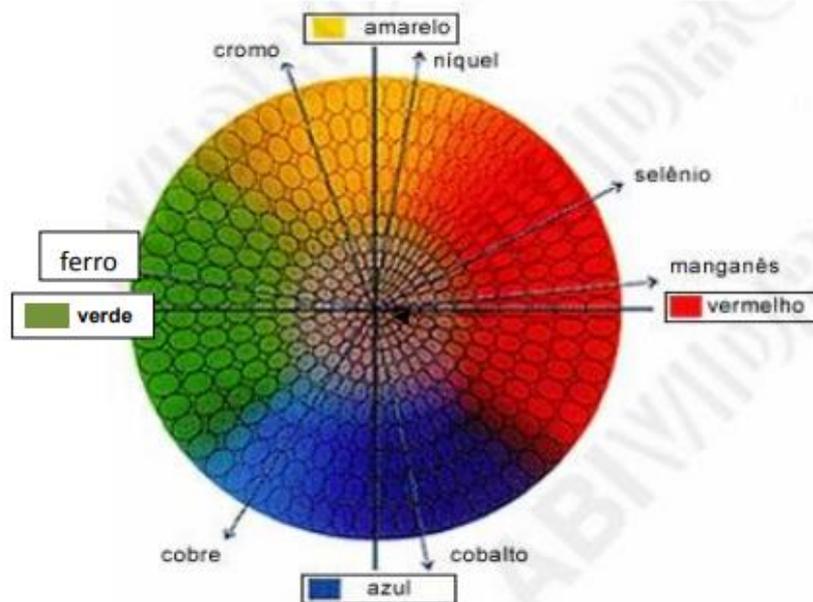
**Figura 1: Tetraédrico de Silício**

O arranjo atômico do vidro é caracterizado por uma rede tridimensional estendida de forma amorfa, assim se diferenciando de um cristal que possui seu arranjo atômico cristalino, entretanto suas forças interatômicas são comparadas, dando a única diferenciação da organização atômica. Ao classificar o vidro com o caráter não cristalino, o que se representa é a sua variação no ângulo das ligações químicas que não se repetem a média e longas distancias, porém há um ordenamento a curtas distancias de uma cadeia de tetraédricas  $\text{SiO}_4$  (ALVES, GIMENEZ e MAZALI, 2001).

O vidro é composto pelos seguintes elementos: sílica, soda, cálcio, magnésio, alumina, cloreto de sódio, nitrato de sódio, óxidos e sucatas de vidros. A sílica ( $\text{SiO}_2$ ) é o vitrificante, a soda ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) baixa o ponto de fusão da sílica., o cálcio ( $\text{CaO}$ ) estabilidade do vidro, magnésio ( $\text{MgO}$ ) enriquece sua resistência mecânica, a alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) reforça suas resistências, o cloreto de sódio, nitrato de sódio, óxido de selênio são afinantes. Os óxidos são utilizados como corantes de vidro. A sucata de vidros é utilizada na faixa de 20% a 40% para fusão. As principais características são: recicláveis, transparência, dureza, isolante dielétrico, baixa condutividade térmica, abundância de recursos da natureza e durabilidade (MAIA, 2003; AKERMAN, 2013).

A cor é uma característica interessante do vidro, pode variar do incolor até infinitas cores, que oscilam de uma leve tonalidade a total opacidade. Através de óxidos metálicos misturados aos ingredientes básicos determina-se as cores. A cor azul pálido é obtida com óxido de cobre ( $\text{CuO}$ ), azul escuro pode ser obtido com o óxido de cobalto ( $\text{CoO}$ ), verde dá-se com a adição de óxido ferroso ( $\text{FeO}$ ) enquanto a mistura do ferro do óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) resulta na cor âmbar; já o manganês do dióxido de manganês ( $\text{MnO}_2$ ) dá uma cor púrpura e o vermelho é obtido com

uma suspensão de óxido cuproso ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ). A adição dos óxidos de antimônio ( $\text{Sb}_4\text{O}_6$ ) e estanho ( $\text{SnO}_2$ ) são responsáveis pelas cores amarelo e branco opacos. A Figura 2, os elementos químicos utilizados para tingir o vidro (FELISBERTO, 2006).



**Figura 2: Corantes para vidro**

## 2.2 Aquecedor solar.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), definiu como aquecedor solar todo o dispositivo que absorve radiação solar incidente, transferindo a energia térmica para um fluido de trabalho (EKOS BRASIL e VITAE CIVILIS, 2010).

Os aquecedores solares têm o princípio de funcionamento a circulação por termosifão. Para isso é preciso que o coletor solar esteja instalado abaixo do reservatório com no mínimo 0,3 metros e no máximo 3 metros. Esse desnível é necessário para garantir a circulação da água no coletor pela diferença de densidade entre a água fria e a água quente (ALOANO, 2008).

À medida que a água esquentada passando pelas colunas do aquecedor, ela retorna para o tanque, através das tubulações, ficando sobrepostas a água fria. Por sua vez a água fria é empurrada para a tubulação em direção ao coletor pela força da gravidade; passando pelas tubulações a água aumenta a sua temperatura e retorna para o reservatório ficando acima da água fria pela diferença de densidade, dessa forma é fechado o ciclo de aquecimento (ALOANO, 2008).

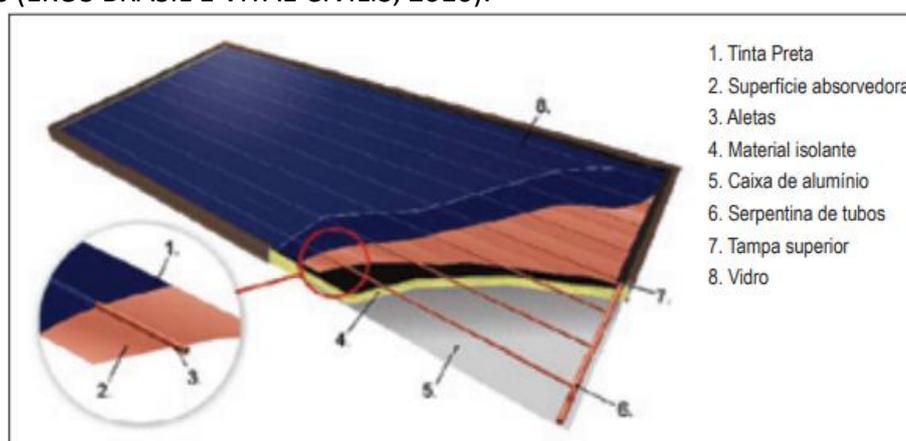
Cada vez que a água percorre o aquecedor, ela é aquecida em média  $10^\circ\text{C}$ , o que permite em uma exposição ao Sol por um período de 6 horas atingir no verão a temperatura de  $52^\circ\text{C}$  e no inverno  $38^\circ\text{C}$ , este processo é mantido enquanto houver radiação ou no momento em que atinja o equilíbrio térmico (ALOANO, 2008).

Segundo a publicação de EKOS Brasil e Vitae Civilis em 2010, atualmente existem três tipos de coletor/aquecedores solares: coletor plano, concentrador parabólico e tubo à vácuo.

### 2.3 Coletor Solar Plano

O coletor plano pode ser fechado ou aberto. Os modelos fechados possuem uma série de componentes metálicos e material isolante térmico em uma caixa de vidro para criar o efeito estufa. A superfície absorvedora dos raios solares deve ser pintada de preto, garantindo a máxima absorção podendo chegar a taxas de 95% de rendimentos de toda radiação incidente (ALMEIDA, 2005).

A água aquecida circula por tubos internos conhecidos como aletas que estão juntas com a superfície absorvedora alcançando a temperatura média de aquecimento de 70°C. Normalmente cada coletor possui 8 a 12 aletas dispostas em paralelo. A matéria utilizada para a montagem das placas absorvedoras e aletas devem ser selecionadas corretamente, pois nem sempre é possível conseguir bons resultados de condutibilidade térmica quando se mistura dois ou mais metais diferentes. A figura 3 apresenta o modelo de coletor solar plano e seus componentes (EKOS BRASIL E VITAE CIVILIS, 2010).

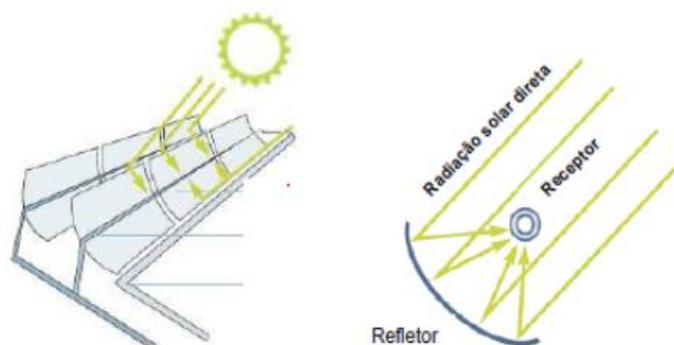


**Figura 3: Coletor plano**

Os coletores planos podem ter o ar como um fluido a ser aquecido, sendo também conhecidos como coletores solares planos de ar que apresentam como principal aplicação o aquecimento e conforto térmico. Trabalha com o sistema de termossifão, no entanto possui uma baixa capacidade calorífica e o processo de transferência de calor entre placas e fluidos é ruim (ALMEIDA, 2005).

### 2.4 Concentrador Parabólico

Os concentradores parabólicos têm como o princípio o aquecimento com a incidência dos raios solares em um ponto ou área focal, através de espelhos. Os raios solares se concentram em um receptor linear metálico tingido de preto. A Figura 4 apresenta a forma de captação dos raios solares do concentrador parabólico (MAQUETA, 2012, KROTH, 2016).



**Figura 4: Captação dos raios solares**

É comum construir um sistema de eixos podendo direcionar o coletor no sentido Leste-Oeste e Norte-Sul para o aproveitamento máximo dos raios solares ao longo dos dias e época sazonais. Os concentradores parabólicos são os mais eficientes na tecnologia de aquecimento solar, permitindo o aquecimento de fluidos a temperatura de até 400 °C. A Figura 5 exemplifica o concentrador parabólico.

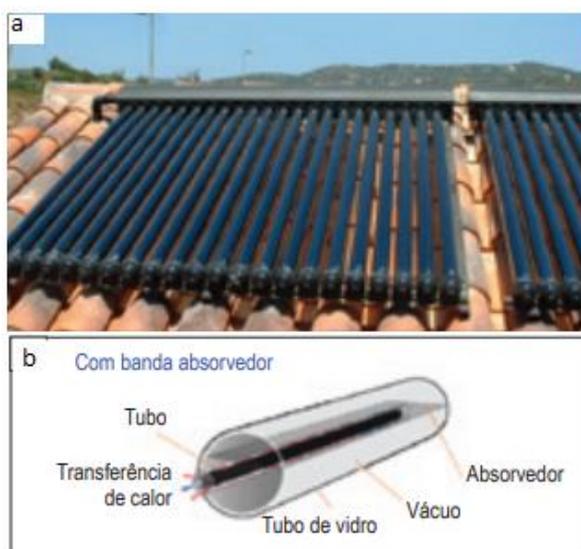


**Figura 5: Concentrador Parabólico**

## 2.5 Coletor Tubo de Vácuo

Os coletores solares de tubo a vácuo, visam diminuir as perdas térmicas utilizando o vácuo em seu interior para aumentar a temperatura final do fluido. O sistema é composto por vários tubos, cada um com um absorvedor, fazendo os raios incidirem perpendicularmente na sua superfície durante as horas do dia. A maior vantagem é a eliminação de perdas térmicas por convecção no ambiente do vácuo, entretanto o seu custo e a possibilidade de perder o vácuo são as principais desvantagens (EKOS BRASIL E VITAE CIVILIS, 2010; KROTH, 2016).

Possuem uma cobertura dupla envolvente, fechada e isolada no interior e exterior, na qual é feito o vácuo, entretanto, são modelos caros e perdem o vácuo ao longo do tempo. Sua principal finalidade é a produção de água quente sanitária e climatização de piscinas podendo sua temperatura atingir a máxima de 100 °C (EKOS BRASIL E VITAE CIVILIS, 2010; KROTH, 2016). A figura 6a apresenta o coletor de vácuo, enquanto a Figura 6b representa o detalhamento do coletor de vácuo.



*Figura 6: Coletor solar a vácuo; figura 6b: Detalhamento do coletor a vácuo*

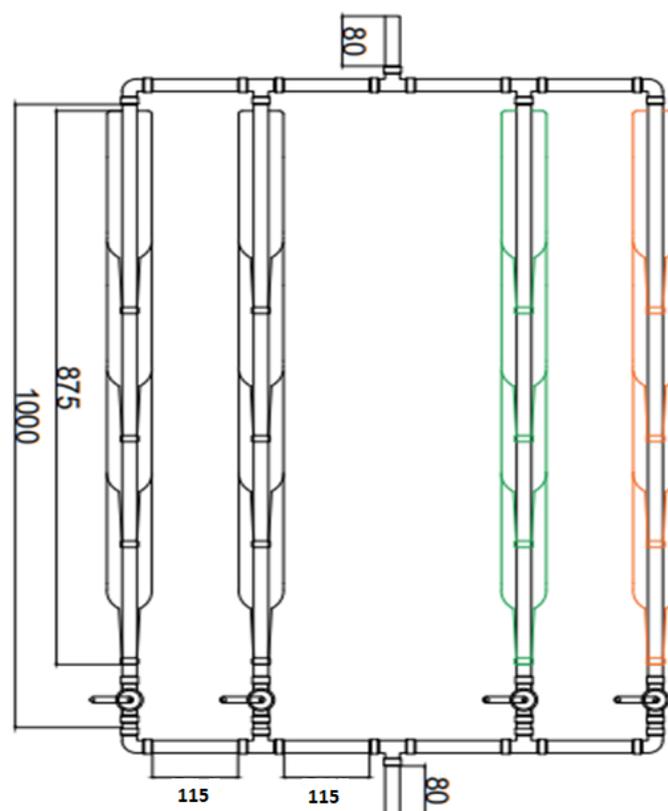
### 3 METODOLOGIA

Para uma melhor compreensão da metodologia, foram criadas etapas para a realização do projeto. As etapas são caracterizadas pelo dimensionamento do protótipo do aquecedor de água movido a energia solar, construção do protótipo e coleta e análise de dados.

#### 3.1 Dimensionamento

Para a etapa de dimensionamento do protótipo, foi levado em consideração o trabalho realizado por Aloano (2008), tendo sido construído um modelo semelhante de aquecedor de água, porém com garrafas PETs. O protótipo foi formado por 4 colunas de 1000 milímetros e separadas por uma distância de 115 milímetros entre si. Segundo o projeto de Aloano (2008), os diâmetros dos tubos para circulação da água devem ser menores que o diâmetro da boca da garrafa, assim, utilizou-se tubulações de CPVC de 15 milímetros de diâmetro, como pode ser observado na figura 7.

O aquecedor de água por energia solar foi montado com duas colunas de garrafas transparentes, uma coluna de vidro esverdeado e uma coluna de vidro âmbar com 875 mm de comprimento cada, enquanto a tubulação de entrada e a saída do aquecedor possuem 80 milímetros de comprimento.



**Figura 7 - Desenho Técnico do Protótipo do Aquecedor.**

Foram coletadas 16 garrafas de vidro de diferentes formatos, sendo 8 de vidro transparente, 4 de vidro verde e 4 de vidro âmbar. Primeiramente foram retirados os rótulos esfregando uma esponja com água e um pouco de detergente, enquanto os dosadores foram cortados com uma serra manual. Em seguida as garrafas foram lavadas com água corrente para retirar todos os restos e impurezas do interior.

### 3.2 Construção do Protótipo

A construção e os testes com o aquecedor solar feito de garrafas de vidro foram realizados fora das mediações do Centro Universitário Senac – Campus Santo Amaro, devido a pandemia de COVID-19, pois a unidade se encontrava fechada. Para a construção do protótipo, o grupo se encontrou na área de lazer do condomínio localizado na Rua Borba Gato, 331, tomando todas as medidas de segurança e distanciamento social preconizadas pela Organização Mundial da Saúde e em atendimento as regras estaduais e municipais.

Através de uma pesquisa na internet, foi encontrado um método caseiro para realizar os cortes das garrafas. O método consiste no corte através do choque térmico apresentando poucas irregularidades e sua fácil aplicação em ambientes residenciais. Para realizar a técnica deve-se amarrar um barbante molhado com acetona na altura do corte (parte inferior da garrafa). Coloca-se fogo no barbante até que este apague sozinho, e, imediatamente, mergulha-se a garrafa em um balde com água a temperatura ambiente, provocando o choque térmico e cortando o vidro (UMCOMO, 2020).

A garrafa é partida abaixo do barbante instantaneamente com o contato da água, como pode ser observado na figura 8. Após o corte, a borda da garrafa foi suavizada e desgastada com uma lixa d'água 320 até retirar as irregularidades. Cabe ressaltar que o processo de corte da garrafa pode gerar pequenos fragmentos, ocasionando possíveis cortes, ou até mesmo atingir regiões sensíveis como os olhos. Por conta disso, durante o processo foram utilizados óculos de proteção e luvas.



**Figura 8: Corte caseiro da garrafa de vidro.**

As caixas de embalagem longa-vida de leites e de sucos higienizadas com água e sabão. Em seguida foram recortadas em formatos semelhantes ao do projeto de aquecedor solar composto de produtos descartáveis (Alano, 2008) representado na figura 9b, após o corte, foram encaixadas dentro de todas as 16 garrafas cortadas para reaproveitarmos os raios solar como mostra na figura 9.

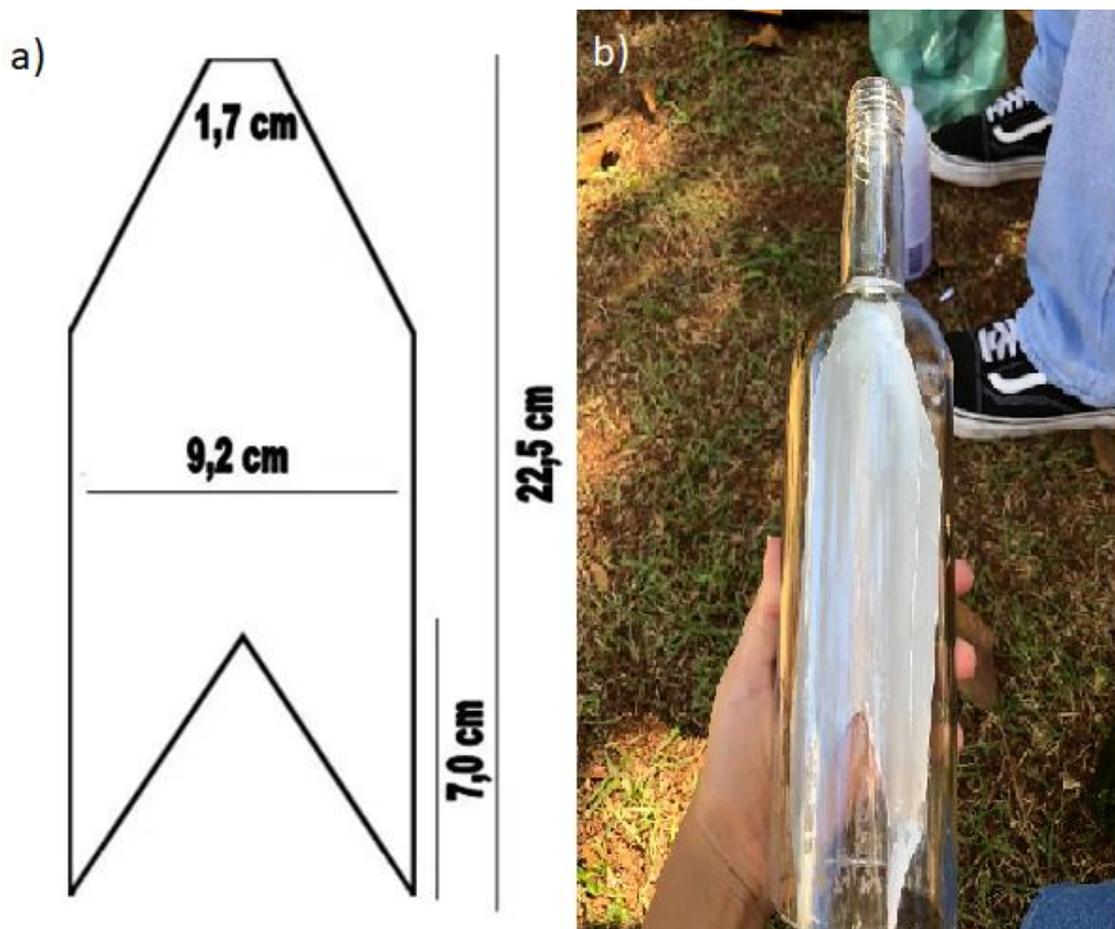


Figura 9 Em (a) Apresenta o modelo de corte das embalagens Longa-vida, e em (b) garrafas de vidro com embalagens longa-vida

Para a montagem das colunas as garrafas foram encaixadas umas nas outras, colocando os gargalos na parte inferior da garrafa acima, com os recortes de embalagem longa-vida voltados para a mesma direção. Foram montadas quatro colunas com quatro garrafas cada, duas colunas com 4 garrafas de vidro transparente, uma coluna com 4 garrafas de vidro verde e uma coluna com 4 garrafas de vidro âmbar.

A tubulação foi tingida com tinta spray preta para a melhor absorção de calor provinda dos raios solares, assim melhorando a eficiência do processo de aquecimento. Posteriormente, os tubos tingidos de preto, foram inseridos dentro das colunas das garrafas de vidro com as folhas de embalagens longa-vida.

Em um lado do tubo foi colocado um CAP de PVC de 75 mm na última garrafa de cada coluna, com um furo de 15mm no centro para a passagem da tubulação, e do outro lado foi colocado o registro de bola de 15mm. Para vedar o interior das garrafas, passou-se cola de silicone entre as garrafas e fita silver tape preta para manter as juntas unidas e manter a coluna resistente, conforme ilustra a figura 10. As fitas silver tapes pretas também ajudaram na absorção do calor, enquanto os registros foram utilizados para fazer o controle de vazão e a abertura e fechamento de cada coluna de forma individualizada, o que permitiu a coleta igualmente individualizada da água de cada coluna e da coleta coletiva de todas as colunas somadas.



Figura 10: colunas de vidro do aquecedor solar.

Por fim, foram acrescentadas tubulações em formato de Tê e curvas de 90° com 15mm de diâmetro, para unir as colunas em um sistema de tubulação.

Com o sistema hidráulico completo foi realizado a montagem de um suporte de madeira com a base regulável para a inclinação e um esquadro na lateral com um pêndulo mostrando a inclinação, que nesse caso foi definida em 30°, segundo a literatura (EKOS BRASIL E VITAE CIVILIS, 2010). A base foi feita com um quadrado de madeira compensada pintada com tinta preta com as dimensões de 1mx1m de largura por 20mm de espessura e a base com 40 cm de altura e um metro de largura, parafusadas com uma dobradiça atrás do tampo de madeira. O aquecedor solar foi parafusado no suporte de madeira com hastes de alumínio como ilustra a Figura 11.



Figura 11: Aquecedor solar finalizado.

### 3.3 Coleta de dados

Para analisar a eficiência do aquecedor de água por energia solar, foram coletadas amostras de temperaturas durante o dia, sendo realizados seis medidas por horário de análise, como apresentado no Quadro 1.

As medidas foram realizadas sempre as 08h00, 10h00, 12h00, 15h00 e 19h00, nos dias 4, 10, 11, 12 e 18 de outubro do ano de 2020.

Para realizar as análises, primeiramente o equipamento foi preenchido com o auxílio de um copo com água captada da rede pública e de temperatura conhecida, a partir de então iniciou-se as medições com intervalos mínimos de 2 horas.

Para obter o valor da temperatura da água de cada coluna, mantinham-se fechados todos os registros e apenas aberto o registro da coluna cuja medida desejava-se aferir a temperatura. Obtendo os valores de temperatura de cada coluna pode-se analisar a influência da cor do vidro no aquecimento da água. Em seguida abriam-se todos os registros para obter a temperatura total da água do sistema. Todos os valores foram tabulados de acordo com os horários de coleta e o dia. O Quadro 1 apresenta as nomenclaturas adotadas para realizar as medidas. Cabe ressaltar que a sequência das colunas está contabilizada da esquerda para a direita.

Quadro 1 – Nomenclaturas das coletas

$T_{c1}$ [°C]	Temperatura Coluna 1 (transparente)
$T_{c2}$ [°C]	Temperatura Coluna 2 (transparente)
$T_{c3}$ [°C]	Temperatura Coluna 3 (verde)
$T_{c4}$ [°C]	Temperatura Coluna 4 (âmbar)
$T_{ct}$ [°C]	Temperatura de todas as colunas
$T_e$ [°C]	Temperatura entrada

Os dados meteorológicos de interesse no estudo de aquecedores solares foram: fluxo de radiação solar, umidade relativa do ar e a temperatura ambiente. Tais informações foram monitoradas e obtidas diariamente da estação meteorológica do INMET (Estações e Dados, 2020), o ponto de análise mais próximo ao local da coleta dos dados é a estação SESC-Interlagos localizada em 46.68W 23.72S, na altitude de 771 metros.

Para realizar as medições de temperatura da água do aquecedor, foi utilizado um termômetro culinário da marca Clink modelo BL-101, que mede temperaturas entre -50°C a 300°C, e de acordo com o fabricante sua precisão é de  $\pm 1^\circ\text{C}$ , sendo considerado apropriado como equipamento de medida, para os fins desejados.

Também foram realizadas as observações das condições do tempo no ato das coletas, gerando um quadro sobre a cobertura de nuvens no local.

O equipamento foi instalado em um local bem ventilado e arejado, onde a incidência solar direta sobre o equipamento ocorria entre as 8 e as 18 horas. O local escolhido para as coletas de dados está a 2,8 km do ponto de amostragem meteorológica do INMET, de acordo com o Google Earth, como ilustra a Figura 12. Ambos locais de dados, estão situados na zona sul da cidade de São Paulo, nas proximidades da represa Billings.



**Figura 12: Distância dos pontos de dados**

O local onde o equipamento foi instalado, encontra-se a 776 m do nível do mar, sua localização geoespacial é:  $23^{\circ}44'21,86''$  S e  $46^{\circ}39'28,98''$  W, de acordo com os dados do TOPODATA do INPE (Instituto de Pesquisa Espaciais).

As análises foram realizadas durante cinco dias, todas nos mesmos horários, supracitados. Os dados só foram coletados aos fins de semanas, ou feriado ao longo do mês de outubro do ano de 2020, pois para obter uma coleta contínua, apenas nesses dias seria possível, devido a disponibilidade de tempo requerido para as coletas.

Seguindo orientações da ANEEL (2002), a inclinação necessária para aquecedores solares em São Paulo, é entorno de  $25^{\circ}$ , para compensar a inclinação natural do planeta e consequentemente a inclinação dos raios solares que chegam a superfície, e por isso foi desenvolvido um sistema simplificado, composto de um transferidor com a escala em graus e um pêndulo, ajustando a inclinação necessária para uma melhor eficiência do equipamento, como está ilustrado na Figura 13.



**Figura 13: Sistema de Inclinação**

A partir do ajuste necessários para a inclinação, iniciou-se as coletas de dados, e, após os 5 dias de análises os dados foram tabulados e a partir dos registros foram confeccionados gráficos para melhor entendimento dos resultados obtidos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após os cinco dias de coleta, foram registrados diferentes valores de temperatura para cada coluna em relação aos horários de amostragem. Dessa forma os valores foram reunidos na tabela 1 para facilitar as análises.

Tabela 1: dados obtidos							
dia	Horário	$T_e$ [°C]	$T_{c1}$ [°C]	$T_{c2}$ [°C]	$T_{c3}$ [°C]	$T_{c4}$ [°C]	$T_{ct}$ [°C]
04/out	08:00	22,9	20,1	20,1	20,8	20,2	20,9
	10:00	22,3	22,1	21,8	21,8	21,3	21,7
	12:00	22,6	27,2	26,8	24,6	24,8	26,5
	15:00	21,7	22,4	23,1	22,5	21,8	22,3
	19:00	20,3	21,1	21,0	20,3	20,6	20,6
10/out	08:00	20,8	18,0	18,5	19,3	18,9	19,8
	10:00	20,8	20,9	22,6	21,7	21,9	22,1

	12:00	21,3	30,6	33,6	32,1	32,8	32,3
	15:00	21,7	40,9	43,2	40,6	38,3	34,6
	19:00	20,9	17,2	17,9	17,5	17,3	17,6
	08:00	19,6	17,9	18,5	18,1	18,1	18,1
	10:00	20,1	25,4	25,6	25,3	25,3	25,7
11/out	12:00	21,4	38,3	35,7	35,6	35,5	35,6
	15:00	21,9	44,5	41,6	38,8	40,7	41,8
	19:00	20,5	19,1	19,1	18,8	18,6	19,0
	08:00	19,7	20,0	21,1	20,6	21,8	20,8
	10:00	20,5	21,8	26,3	23,6	24,9	25,1
12/out	12:00	21,1	41,5	39,3	39,2	38,6	39,8
	15:00	22,5	47,7	45,5	44,5	46,6	46,3
	19:00	21,5	20,6	22,5	21,9	22,6	21,9
	08:00	19,3	20,3	20,0	20,8	20,4	20,6
	10:00	20,8	27,7	30,1	29,1	29,9	29,3
18/out	12:00	20,8	33,2	34,0	36,0	34,5	33,9
	15:00	21,0	32,8	34,6	33,5	34,5	32,4
	19:00	20,8	20,8	20,5	20,6	20,5	20,5

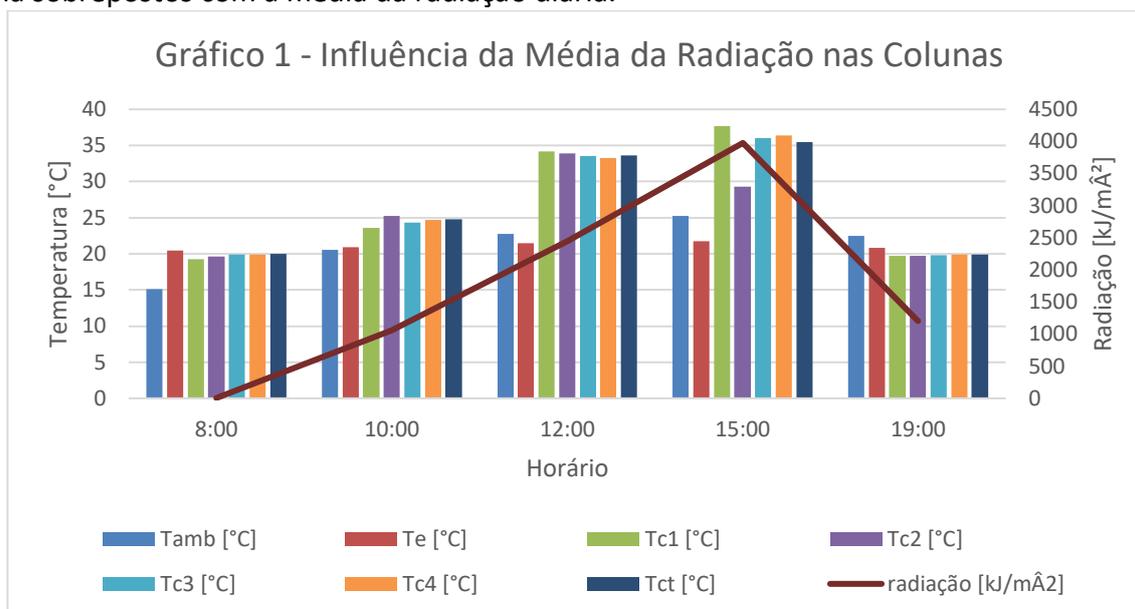
A partir dos resultados tabulados, foi realizado uma média de cada variável em relação aos horários de coleta, facilitando a compreensão em uma forma mais geral dos resultados. A tabela 2, apresenta a média de todos os resultados obtidos.

Tabela 2: média dos resultados obtidos

horário	T <sub>amb</sub> [°C]	T <sub>e</sub> [°C]	T <sub>c1</sub> [°C]	T <sub>c2</sub> [°C]	T <sub>c3</sub> [°C]	T <sub>c4</sub> [°C]	T <sub>ct</sub> [°C]	radiação [kJ/m <sup>2</sup> ]	Umidade (%)
		20,4	19,2	19,6	19,9	19,8	20,0		
08:00	15,12	6	6	4	2	8	4	4,02	91,00
		20,9	23,5	25,2	24,3	24,6	24,7		
10:00	20,58	0	8	8	0	6	8	1060,082	84,20
		21,4	34,1	33,8	33,5	33,2	33,6		
12:00	22,76	4	6	8	0	4	2	2448,328	73,00
		21,7	37,6	29,2	35,9	36,3	35,4		
15:00	25,26	6	6	8	8	8	8	3976,696	68,00
		20,8	19,7	19,7	19,8	19,9	19,9		
19:00	22,48	0	6	6	2	2	2	1203,242	72,60

É importante ressaltar que constatou-se um problema de vazamento na coluna 2, e o volume coletado, em todas as amostras, foi muito inferior ao das demais colunas, propagando a chance de possíveis erros de medida, porém como não houve uma discrepância significativa em relação as temperaturas, os dados obtidos foram considerados.

Ao comparar os dados de radiação com o aquecimento da água, percebe-se uma grande influência no processo de aquecimento. O Gráfico 1 apresenta a média das temperaturas de cada coluna sobrepostos com a média da radiação diária.



Segundo Siqueira (2009) e Basso *et al.* (2010), quanto maior for a radiação maior será a temperatura alcançada pelo sistema. O ângulo de posicionamento também influencia nos resultados, assim, um bom posicionamento do plano inclinado em relação a radiação solar pode aumentar a temperatura final da água.

Os tubos tingidos de preto aumentam a fração de radiação absorvida e diminui a fração de radiação refletida, com isso, aumenta a fração transmitida para a água, melhorando a sua eficiência (SIQUEIRA, 2009).

As garrafas criam uma proteção nas colunas, mas exercem um fator importante em manter a temperatura do seu interior, graças ao efeito estufa produzido com a reflexão dos raios solares para o interior das colunas, o processo se deve pois o vidro é um material semitransparente, assim a radiação solar atravessa o vidro e ao encontrar o tubo tingido de preto, sofre uma reflexão com um comprimento de onda diferente o que impede de atravessar o vidro criando uma re-emissão da radiação no sentido vidro/tubo/vidro (SIQUEIRA, 2009; ALMEIDA, 2006).

Apesar das colunas de cores diferentes não apresentarem grandes diferenças de temperatura, o teor de ferro no vidro pode influenciar na transmissibilidade. Os vidros de coloração verde possuem em sua composição 92% de óxido de ferro (SIQUEIRA, 2009).

Os vidros transparentes possuem cerca de 90% de transmissibilidade em radiação de comprimento de ondas menores de 400 nm (ultravioleta), enquanto a faixa visível com comprimento de ondas de 380 nm à 740nm apresenta 80% de transmissibilidade. Para o vidro com coloração esverdeada, não apresenta transmissibilidade de radiação ultravioleta e possui o seu pico na faixa visível no comprimento de onda de 600 nm, assim atingindo 70% de transmissão, entretanto para o comprimento 700 nm a sua transmissibilidade cai para 25% e por fim sobe para 30% no comprimento de 740 nm. Para o vidro âmbar a transmissão de raios ultravioleta é de 3%, seu pico ocorre nos comprimentos de onda de 650 a 700 nm com 60% de transmissão e sofre uma queda para 50% de transmissibilidade para ondas de 740 nm (SANTOS *et al.*, 2018).

Os dados de observação do tempo foram obtidos no ato de cada coleta gerando as observações ao longo do dia. Os dados são apresentados no Quadro 2 que representa as observações do tempo.

Quadro 2 – Observações do tempo

Horário	04/out	10/out	11/out	12/out	18/out
08:00	muito nublado	sol entre poucas nuvens	sol com algumas nuvens	sol com algumas nuvens	nublado sem insolação
10:00	muito nublado	muitas nuvens com algumas incidência solar	ensolarado	ensolarado	sol entre nuvens
12:00	muito nublado	sol entre poucas nuvens	ensolarado	ensolarado	sol entre poucas nuvens
15:00	muito nublado	sol entre pouquíssimas nuvens	ensolarado	ensolarado	nublado sem abertura solar
19:00	após o crepúsculo	após o crepúsculo	após o crepúsculo	após o crepúsculo	após o crepúsculo

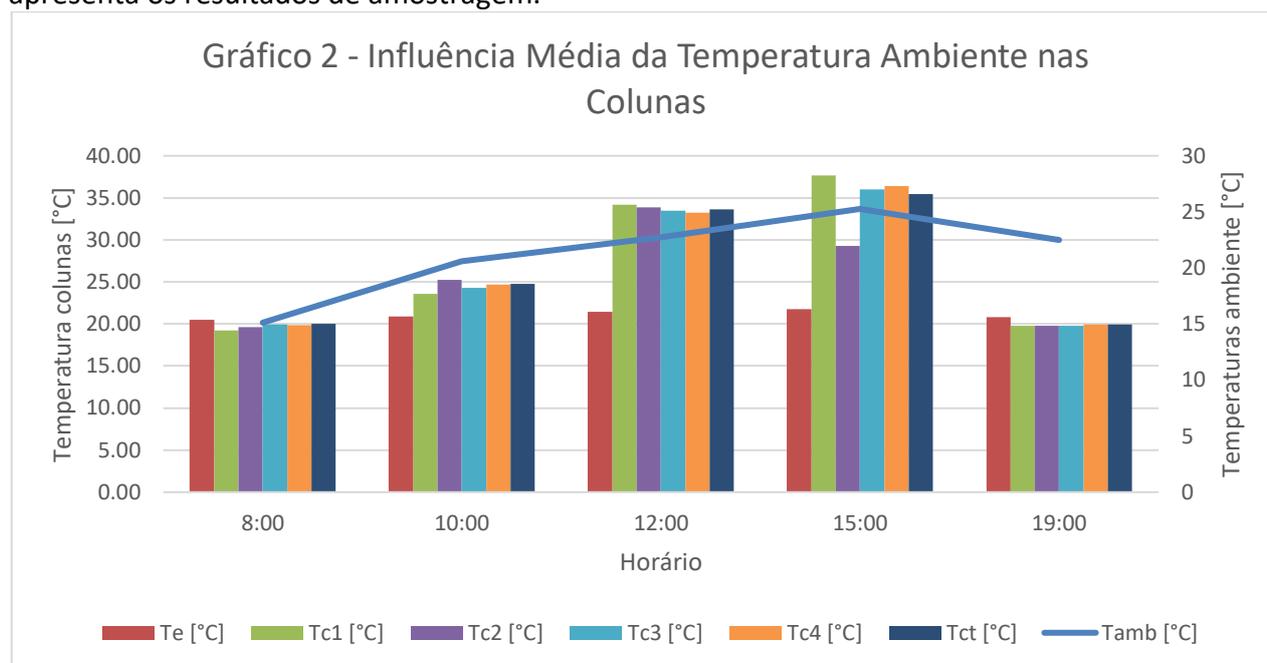
A ocorrência de nebulosidade possui uma grande influência na temperatura final da água. Como observado no dia como apresentado no dia 4 de outubro às 12:00, os valores obtidos apresentaram a temperatura final de 26,5°C no  $T_{tc}$  enquanto em dias ensolarados, e o mesmo horário, os valores de temperatura obtidas na soma das colunas foi de 35,6 °C e de 39,8 °C.

Em dias ensolarados as melhores temperatura foram obtidas no horário das 15:00, assim pode-se assumir que o maior tempo de exposição à radiação solar amplifica a eficiência no aquecimento, como constatado nos dias 11 e 12 de outubro.

Tal fenômeno se deve em função da absorção de radiação pela atmosfera onde as nuvens são bloqueadores naturais dos raios solares, absorvendo a radiação e diminuindo o aumento de temperatura. A radiação influencia diretamente o aquecimento da superfície terrestre e é dividida em radiação direta e difusa. A direta representa os fótons que atingem diretamente a superfície, enquanto a difusa sofre espelhamentos múltiplos na atmosfera e são redirecionadas para a superfície da Terra. Em um dia nublados, ocorre o espelhamento da radiação direta, esse valor é proporcional a espessura das nuvens (SIQUEIRA, 2009; MOOJEN, CALVALCANTE e MENDES, 2012; CAMPOS e ALCANTARA, 2016).

No estudo da influência da temperatura ambiente no aquecimento de água, foi realizado a média das temperaturas das colunas e do ambiente. Observou-se que a temperatura ambiente

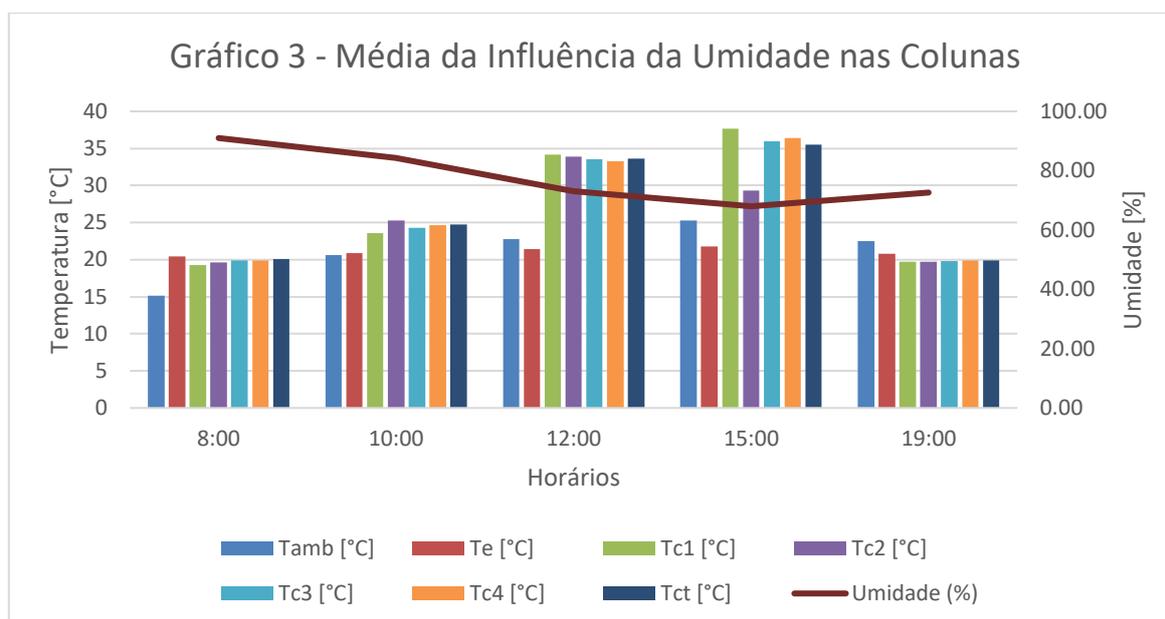
variou pouco em relação a temperatura alcançada pela água no aquecedor. O Gráfico 2 apresenta os resultados de amostragem.



O aumento e a queda da temperatura das colunas acompanharam a variação da temperatura do ambiente. Segundo Jordan, Seye e Motomiya (2015), a temperatura ambiente pode influenciar negativamente no processo de aquecimento da água. Isso ocorre pela diferença de temperatura entre as colunas e o ambiente, assim exercendo uma troca de calor para alcançar o equilíbrio térmico.

Como no aquecedor não foi implementado em sistema de circulação de água pelo modelo de termossifão a perda de temperatura foi mais acentuada. Assim, caso implementado a circulação da água, a redução da temperatura nas colunas pela vazão do líquido diminuiria as perdas por convecção (PENREIRO *et al.*, 2011).

Já em relação a umidade relativa do ar e o aquecimento das colunas, é possível afirmar que quanto menos úmido estava o dia, maior será a variação de temperatura do sistema de aquecimento. O Gráfico 3 apresenta a relação da umidade relativa do ar com a variação de temperatura das colunas.



Com base nas informações do Gráfico 3, é possível observar que conforme a umidade relativa do ar diminui, a variação de temperatura das colunas aumenta. Isso ocorre devido as moléculas de água presentes na atmosfera absorvem a radiação antes de chegar no aquecedor que, por consequência, alcança temperaturas menores de aquecimento e diminui a eficiência em horários e dias mais úmidos.

Com o processo de absorção da radiação, as moléculas de água evaporam e a umidade relativa do ar diminui. Com o fim da tarde a massa de ar frio passa a ficar próxima da superfície aumentando a umidade do ar, assim dificultando o aquecimento do sistema (SIQUEIRA, 2009; JORDAN, SEYE E MOTOMIYA, 2015).

O protótipo custou R\$579,56 com a compra dos materiais para a confecção de um aquecedor de água com o dimensionamento de 1x1 metros, entretanto não foi levado em conta os valores da montagem do reservatório para complementar a eficiência do sistema. Existem variáveis que podem elevar o preço do produto como o aumento do dimensionamento e o reservatório de água.

Em sites especializados em aquecedores solares como Patrosol, Solar&Sol Aquecedores e Enertech os valores médios de aquecedores solares com dimensões de 2x1 metros são de R\$2700,00 aproximadamente. Dessa forma mesmo com a aplicação do reservatório e dobrando o comprimento do aquecedor solar feito com garrafas de vidro, para atingir o diâmetro dos modelos concorrentes, seus valores ainda serão menores, tornando a tecnologia mais acessível para moradores em situação de vulnerabilidade social, entretanto, caso o aquecedor se torne uma oportunidade empreendedora, é necessário que as contas sejam reformuladas devido aos tributos fiscais.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.

O aquecedor apresenta uma ótima alternativa para a solução de gastos energéticos com baixos custos de implementação, como corroboram os autores Aloano (2008), Siqueira (2009), Ekos Brasil e Vitae Civilis, (2010), Jordan, Seye, Motomiya (2015). O protótipo realizado com vidro

apresentou bons resultados no aquecimento de água, entretanto, para uma melhor conclusão, deve-se realizar mais coletas de dados, entendendo-se que a amostragem em 5 dias distintos no mês de outubro representa uma visualização parcial e pequena dos resultados.

Para se obter análises e uma compreensão melhor da eficiência do aquecedor, orienta-se a realização de testes ao longo das quatro estações do ano, para verificação da real eficiência do sistema.

Com o cenário atual da pandemia de Covid-19, a construção do reservatório ficou impossibilitada. O reservatório tem um papel importante para o aquecimento de água, e, com a sua ausência os resultados podem apresentar alterações.

Apesar de não apresentar alterações de temperaturas significativas com a diferença da coloração das garrafas de vidro, a cor exerce influência no processo de transmissibilidade de radiação. Uma possibilidade de os resultados não possuírem diferenças se deve ao tempo curto de coleta. Sendo assim uma amostragem ao longo das quatro estações do ano pode demonstrar tal diferença.

O processo de construção do aquecedor e a coleta de dados de temperatura foram realizados em ambientes residenciais sendo usados equipamentos caseiros com pouca precisão para checar os resultados. Vale ressaltar, caso fosse realizado o projeto em um ambiente acadêmico, os resultados de construção e de coleta seriam melhores e fatores como velocidade do vento e temperatura da superfície do vidro entrariam para as análises.

Durante a noite, nota-se uma perda de temperatura significativa. Para evitar a perda de temperatura, a aplicação de uma manta térmica no reservatório pode manter a água aquecida por mais tempo.

O trabalho apresenta uma alternativa para o uso do vidro de maneira sustentável atingindo o fator econômico com a redução de gastos energético, o fator social com o baixo custo para a sua confecção e o fator ambiental ao destinar de forma correta o vidro.

## REFERÊNCIAS

ABRELPE, 2017. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. Disponível em: <[https://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama\\_abrelpe\\_2017.pdf](https://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf)> acessado em: 04/09/2020.

ALOANO, J. A. **Aquecedor Solar Produzidos com Materiais Recicláveis. Água Quente para Todos**. Governo do Paraná – Sema Secretária de Estado do Meio Ambientes e Recursos Hídrico, 2008. Disponível em <[http://www.planetareciclavel.com.br/desperdicio\\_zero/Kit\\_res\\_17\\_solar.pdf](http://www.planetareciclavel.com.br/desperdicio_zero/Kit_res_17_solar.pdf)>. Acessado em 26/08/2020

ALMEIDA, A. A. **Coletor Solar Alternativo**. Projeto de Graduação, Departamento de Engenharia Mecânica da UFES, 04 de janeiro de 2006. Disponível em <[http://mecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/2005-2\\_alessandro\\_apolinario\\_de\\_almeida\\_-\\_coletor\\_solar\\_alternativo.pdf](http://mecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/2005-2_alessandro_apolinario_de_almeida_-_coletor_solar_alternativo.pdf)>. Acessado em 12/09/2020.

ALVES, O. L; GIMENES, I. A e MAZALI, I. O. **Vidros**. Cadernos Temáticos – Química Nova Na Escola Fevereiro 2001. Disponível em <

[http://lqes.iqm.unicamp.br/images/pontos\\_vista\\_artigo\\_divulgacao\\_vidros.pdf](http://lqes.iqm.unicamp.br/images/pontos_vista_artigo_divulgacao_vidros.pdf)>. Acessado em 12/09/2020.

ANEEL, 2002. **Atlas de energia elétrica do Brasil** / Agência Nacional de Energia Elétrica. – Brasília. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro\\_atlas.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf)> acessado em: 04/09/2020.

CAMARA DOS DEPUTADOS, 2012. **Energias Renováveis: riqueza sustentável ao alcance da sociedade**. relator: Pedro Uczai; equipe técnica: Wagner Marques Tavares (coord.), Alberto Pinheiro de Queiroz Filho [recurso eletrônico]. – Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2012. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/a-camara/estruturaadm/altosestudios/pdf/energias-renovaveis-riqueza-sustentavel-ao-alcance-da-sociedade>> acessado em: 27/05/2020.

CAMPOS, M. S; ALCANTARA, L. D. S. **Interpretação dos Efeitos de Tempo Nublado e Chuvoso Sobre a Radiação Solar em Belém/PA Para Uso em Sistemas Fotovoltaicos**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 31, n. 4(suppl.), 570-579, 2016. Disponível em <<https://www.scielo.br/pdf/rbmet/v31n4s1/0102-7786-rbmet-31-04-s1-0570.pdf>>. Acessado em 06/11/2020.

EKOS BRASIL; VITAE CIVILIS. **Introdução ao Sistema de Aquecimento Solar**. Disponível em <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/60551/mod\\_resource/content/1/Apostila\\_Aquecimento\\_Solar.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/60551/mod_resource/content/1/Apostila_Aquecimento_Solar.pdf)>. Acessado em 23/09/2020.

FELISBERTO, C. B. **Rendimento e cor de selênio e seus compostos na coloração de vidros sodo-cálcicos**. Disponível em < <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-19042007-141556/en.php>>. Acessado em 12/09/2020.

JORDAN, R. A; SEYE, O; MOTOMIYA, A.V. A. **Influência da Vazão de Água Sobre o Rendimento de um Coletor Solar Plano Construído em Termoplástico**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.35, n.4, p.665-675, jul./ago. 2015. Disponível em <<https://www.scielo.br/pdf/eagri/v35n4/1809-4430-eagri-35-4-0665.pdf>>. Acessado em 06/11/2020.

KANVASFER. Vidros. CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem 2011. Disponível em: < [http://www.cempre.org.br/ft\\_vidros.php](http://www.cempre.org.br/ft_vidros.php)> . Acesso em 12/09/2020.

KROTH, F. A. **Construção e Avaliação de Um Concentrador Solar Cilíndrico Parabólico Para Aquecimento de Água Residencial**. Monografia de TCC graduação em Engenharia Química da UNIVATES, novembro de 2016. Disponível em < <https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1475/1/2016FabricioAugustoKroth.pdf>>. Acessado em 12/09/2020

LINO, F. A. M.; ISMAIL, K. A. R., 2010. **Instalação De Aquecedores Solares De Água Em Residências De Baixa Renda: Estudo De Caso**. Departamento de Engenharia Térmica e de Fluidos – Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP – SP. Disponível em:

<[https://www.researchgate.net/publication/273957521\\_Instalacao\\_de\\_aquecedores\\_solares\\_de\\_agua\\_em\\_residencias\\_de\\_baixa\\_renda\\_estudo\\_de\\_caso](https://www.researchgate.net/publication/273957521_Instalacao_de_aquecedores_solares_de_agua_em_residencias_de_baixa_renda_estudo_de_caso)> acessado em: 04/09/2020.

LOSEKANN, L., HALLACK, M., 2016. **Novas Energias Renováveis No Brasil: Desafios E Oportunidades.** Disponível em: <[http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8446/1/Novas%20energias%20renov%C3%A1veis%20no%20Brasil\\_desafios%20e%20oportunidades.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8446/1/Novas%20energias%20renov%C3%A1veis%20no%20Brasil_desafios%20e%20oportunidades.pdf)> acessado em: 27/05/2020.

MAIA, Samuel Berg. **O Vidro e sua fabricação.** Ed: Interciencia Rio de Janeiro, 2003

MALAGUETA, D. C. **Gerador Heliotérmica Princípios e Tecnologia.** Centro de Referências para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito – CRESESB RJ, julho de 2012. Disponível em <[http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial\\_heliotermica\\_2012.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_heliotermica_2012.pdf)>. Acessado em 12/09/2020

MARQUES, F. M. R., 2014. **Perspectivas para a Energia Solar no Brasil.** Disponível em: <<https://www.crasp.gov.br/centro/conteudo/old/uploads/Artigo-Perspectivas-para-a-energia-solar-no-Brasil.pdf>> acessado em: 04/09/2020

MOOJEN, T. M. B; CALVALCANTE, R. B. L; MENDES, C. A. B. **Avaliação da radiação solar com base em dados de nebulosidade.** Geografia (Londrina), v. 21, n. 3.p.41-55, set/dez. 2012. Disponível em <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/10346>>. Acessado em 06/11/2020.

PENEREIRO, J. S.; FERREIRA, D. H. L.; SILVA, L. L.; MESCHIATTI, M. C. **Estudo comparativo entre um aquecedor solar de baixo custo e um comercial: as eficiências térmicas experimentais sob a influência dos ventos.** Revista de Ciência e Tecnologia, Nova Iguaçu, v. 11, n. 3, p. 7-28, dez. 2011.

SANTOS, J. C. P; FERNANDES, M. R; LIMA, R. C. A; TEMP, M. S. **Comportamento ótico de vidros e policarbonatos translúcidos frente à radiação solar.** Matéria (Rio J.) vol.23 no.3 Rio de Janeiro 2018 Epub Oct 18, 2018. Disponível em <>. Acessado em 09/11/2020.

SIQUEIRA, D. A. **Estudo de Desempenho do Aquecedor Solar de Baixo Custo.** Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Uberlândia - MG Março de 2009. Disponível em <<https://core.ac.uk/download/pdf/195896119.pdf>>. Acessado em 06/11/2020.

UM COMO. **Como Cortar o Vidro.** Disponível em <<https://artes.umcomo.com.br/artigo/como-cortar-vidro-21115.html>>. Acessado em 06/11/2020.

## TRATAMENTO DE ESGOTO DE SHOPPING CENTER PARA FINS DE REÚSO

### TRATAMENTO ANAERÓBIO DE ESGOTO

Bianca Fontana | Christian Farkas | Giovanna de Alcantara | Juliane Ribeiro | Milena Turetta

Professor Orientador: Alexandre Saron

Engenharia Ambiental e Sanitária - Centro Universitário Senac

<http://www.divulgacaocientifica.sp.senac.br/sua/>

#### RESUMO

O artigo tem como objetivo apresentar um projeto executivo de engenharia referente ao sistema de reuso com tratamento anaeróbico de esgoto para um shopping center localizado na zona litorânea do estado de São Paulo. Visando desenvolver uma solução ambiental para a redução do consumo de água e reaproveitamento na parte interior do shopping sem fins potáveis e obedecer

a legislação estadual vigente. Realizou-se levantamentos de dados primários e secundários, cálculos do dimensionamento das operações unitárias e de seus componentes. Pode-se concluir que a tecnologia proposta se mostrou eficiente e o custo-benefício do projeto resultará em um retorno financeiro e a diminuição de custo com o tratamento de esgoto em cerca de sete meses.

PALAVRAS-CHAVE: ETE, Reator UASB, Tratamento de Efluentes, Shopping-Center.

## SHOPPING CENTER SEWAGE TREATMENT FOR REUSE PURPOSES ANAEROBIC SEWAGE TREATMENT

#### ABSTRACT

This paper aims to present an executive engineering project for the water reuse system with anaerobic sewage treatment for a shopping mall located in the coastal area of the state of São Paulo. In order to develop an environmental solution for reducing water consumption and increase its reuse in the interior of the mall, without drinking purposes and obeying the current state legislation. A survey of primary and secondary data was carried out, calculations of the dimensioning of unit operations and their components. At the end of the

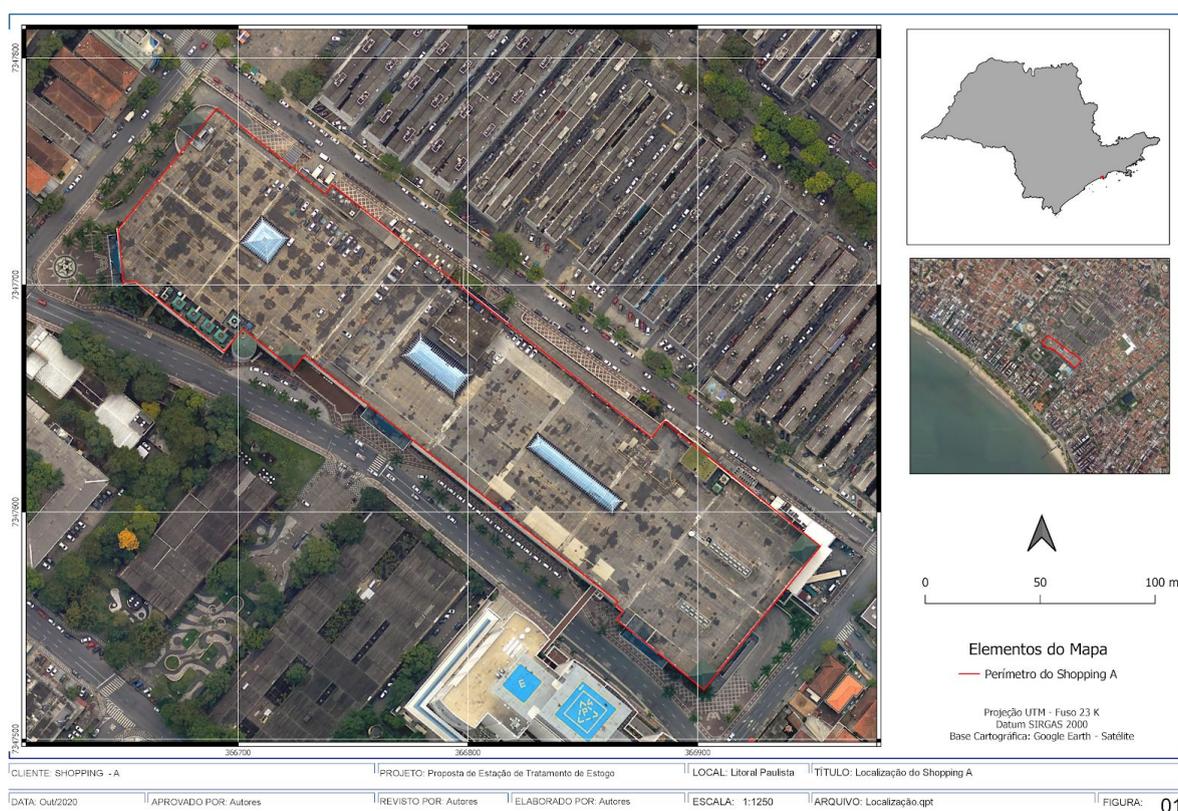
project, it was concluded that the proposed technology proved to be efficient and the cost-benefit of the project will result in a financial return and cost reduction with sewage treatment in about seven months. Surveys of primary and secondary data, dimensioning of unit operations and their components were carried out. At the end of the project it was concluded that the proposed technology proved to be efficient and the cost-benefit of the project will result in a financial return and cost reduction with sewage treatment in about seven months.

KEYWORDS: UASB, Wastewater Treatment, Shopping- Center.

## 1 INTRODUÇÃO

O presente projeto foi realizado por alunos do oitavo semestre do curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Universitário Senac. Com o intuito de desenvolver o dimensionamento de um reator UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket. Será estudado um shopping center do qual solicitou a não divulgação de seu nome.

O shopping center estudado se encontra na zona litorânea de São Paulo. O mesmo solicitou confidencialidade e, por isso, o projeto irá se referir ao cliente como Shopping A.



**Figura 1: Localização georreferenciada do shopping parceiro.**

O dimensionamento se dá pela importância do resguardo com a água, a qual, segundo CAPELLARI *et al* (2018), deve ser utilizada de forma adequada para que se possa ter equilíbrio entre a disponibilidade e a demanda desse recurso, diminuindo conflitos pelo seu uso. O que é confirmado pela Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433 de oito de janeiro de 1997), que afirma que a água é considerada um recurso natural limitado, bem público e possui valor econômico.

De acordo com a CETESB (2020), o reuso de água é considerado uma atividade que engloba o uso racional e eficiente, assimilando com desperdícios e controle de perdas da mesma junto a diminuição no consumo e produção de efluente. Com o reuso, os mananciais sofrem uma redução na demanda, por atividades cotidianas que substituem a água potável por uma de qualidade inferior.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente projeto se baseia em um tratamento anaeróbio, que consiste em degradar a matéria orgânica, de forma que os microrganismos a consumam. Para sua realização, é necessário um reator fechado, para impedir a entrada de oxigênio (INCT, 2019).

Os sistemas de tratamento anaeróbios contam com a digestão anaeróbia e os mais utilizados são as lagoas anaeróbias, os tanques sépticos, os filtros anaeróbios e os reatores anaeróbios. Estes são vantajosos, pois são processos que consomem pouca energia, ocupam uma área pequena, e possuem uma mecanização reduzida (SAAE, 2006).

O tratamento anaeróbio apresenta alguns fatores desvantajosos, sendo a grande necessidade de elevadas temperaturas e possui um processo de crescimento dos microrganismos lento (SAAE, 2006).

A digestão anaeróbia é considerada um processo biológico natural, onde ocorre em diversos ecossistemas, sendo um fenômeno que visa reproduzir-se até em ecossistemas artificiais, como as lagoas e os reatores anaeróbios (CETESB).

Durante a digestão anaeróbia, podem ser identificados quatro processos diferentes, sendo eles a hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, sendo realizadas por diferentes tipos de bactérias (PESCADOR, 2001).

A hidrólise tem a função de degradar a alta massa molecular, ocorrendo por meio das enzimas extracelulares que são liberadas pela bactéria, onde as proteínas e lipídios demoram mais que o carboidrato para se degradarem e são convertidos em aminoácidos, açúcares e ácidos graxos. Já a fase da acidogênese é conhecida pela grande quantidade de ácidos presentes, de forma que as bactérias fermentativas metabolizam os produtos resultantes transformando-os em produtos intermediários, sendo o Propionato, butirato, entre outros (KUNZ, 2019).

A próxima fase é chamada de acetogênese, nesta ocorre a conversão dos produtos intermediários em substratos como acetato e hidrogênio e, por fim, a etapa conhecida como metanogênese, onde os microrganismos conhecidos como Archaeas metanogênicas produzem o metano e o dióxido de carbono (KUNZ, 2019).

Para a elaboração do projeto, foi adotado o reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo com o pós-tratamento por meio de membranas de ultrafiltração pressurizadas. Este não possui finalidade de ingestão humana, ou seja, o tratamento não requer a potabilização da água, descartando assim a desinfecção.

### 2.1 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB)

É um reator fechado, que ocorre pela falta de oxigênio e decomposição de matéria orgânica por microrganismos presentes na manta de lodo (SABESP, 2020). O reator UASB não precisa de mistura mecânica, alcança elevadas velocidades superficiais, possui um sistema compacto e robusto e é considerado um sistema de várias funções (SANTOS, 2009).

O reator UASB é conhecido por produzir uma baixa quantidade de lodo, onde já se encontram estabilizados, pela formação de metano (biogás) e gás carbônico e pela alta concentração de biomassa, além de não necessitar de decantação primária (SAAE, 2006).

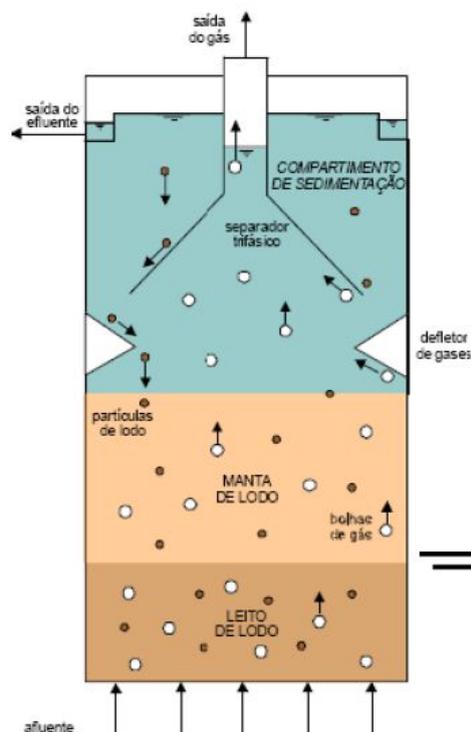


Figura 2: Reator UASB.

Como observado na Figura 2, o reator UASB conta com o leito de lodo, manta do lodo, zona de sedimentação e separador de fase. A água entra pelo fundo do reator, onde o material orgânico e o lodo se misturam na fase de leito do lodo, possibilitando a quebra dos sólidos por meio anaeróbio.

Durante a quebra dos sólidos orgânicos, é produzido biogás, que caminha junto com o líquido, para o separador de fase. Durante esta etapa, conforme o líquido se aproxima da superfície, sua velocidade é reduzida para que a velocidade da sedimentação das partículas seja maior (SAAE, 2006).

Logo em seguida, o sólido sedimenta, ocorrendo um acúmulo de sólidos e o aumento do peso do material. Assim, após um tempo, o peso dos sólidos se torna maior que a força do atrito, o que gera um deslizamento do material, voltando para a parte de baixo do reator (SAAE, 2006).

Campos et al (2005) realizou um estudo voltado para o uso do reator UASB alimentado com dejetos suínos, onde sua eficiência de remoção atingiu 78% para DQO e 75% para DBO. Já Rodrigues et al (2010) apontou valores de eficiência de variados estudos, onde todos variam de, aproximadamente, 60% a 85% de remoção.

## 2.2 Filtro de membrana de ultrafiltração (UF)

A utilização da membrana de ultrafiltração ocorre pela sua capacidade de bloquear a passagem dos microrganismos e das macromoléculas orgânicas, além de ser um método de alta eficiência, baixo consumo energético, fácil operação e manutenção, exige uma pequena área de instalação e utiliza poucos produtos químicos (SILVA et al', 2019).

As membranas são caracterizadas pela força utilizada no processo, sendo por pressão, sendo de material polimérico, metálico ou inorgânico. Estas apresentam maior resistência ao fluxo conforme sua espessura aumenta, além de serem influenciadas de acordo com a sua porosidade, seletividade e permeabilidade, ou seja, sua eficiência varia de acordo com a quantidade de poros, sua distribuição e a substância a ser tratada.

A ultrafiltração é conhecida por ter bons resultados na remoção de sólidos em suspensão, turbidez e eliminação total de microrganismos, pois possui uma estrutura onde os poros são menores que o dos protozoários, bactérias e vírus (SILVA et al', 2019).

A membrana pode ser utilizada por filtração submersa ou pressurizada, onde a primeira ocorre com a membrana submersa dentro de um tanque, podendo ser de um material de fibra oca ou folha plana. Neste procedimento, o efluente fica na região externa, e por meio de sucção, esta passa pela membrana, sendo extraída como água limpa (FELIZZATO, 2017).

No caso da membrana pressurizada, esta conta com uma bomba que irá comprimir o efluente, para que aconteça a permeação, sendo eficiente por meio de um fluxo cruzado externo, onde a velocidade do efluente cruzado permite que não se forme o lodo sobre a membrana (FELIZZATO, 2017).

## 3 METODOLOGIA

A princípio, foi elaborado um cronograma utilizando o MS Project, do qual é um software de Gerenciamento de Projetos, elaborado pela Microsoft. Este é um software que auxilia no controle do projeto do início até sua finalização, sendo uma ferramenta que auxilia no controle de informações sobre os requisitos, duração e os recursos do projeto e, também, na visualização do planejamento de forma mais prática.

Para o desenvolvimento do projeto, foram levantados dados secundários sobre reuso de água, o tratamento biológico em questão e os parâmetros envolvidos para aprofundar conhecimentos sobre o tema do projeto e possibilitar o entendimento e dimensionamento do sistema de tratamento de esgoto proposto.

Após o levantamento do referencial teórico, foi realizado e analisado o dimensionamento do projeto, arquitetado o desenho técnico e o vídeo do modelo 3D, e elaborada a análise econômica de instalação do mesmo.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o projeto, foi considerada uma vazão efluente per capita de  $0,50 \text{ L/ha} * \text{dia}$  e um fluxo médio diário de 1.000.000 pessoas no shopping center. As vazões obtidas foram de  $16,5 \text{ m}^3/\text{h}$  para a vazão média,  $19,9 \text{ m}^3/\text{h}$  para a vazão máxima diária e  $29,7 \text{ m}^3/\text{h}$  para a vazão máxima horária. O projeto está sendo desenvolvido para atender as épocas de maior movimento, sendo nos meses de julho, janeiro e dezembro. Estima-se entre 1 milhão e 100 pessoas no mês em período de temporada.

Com os dados obtidos, foi realizado o dimensionamento de um Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB) para tratamento de esgoto para fins de reuso. Os cálculos realizados foram baseados no dimensionamento apresentado por Chernicharo (1997). Uma vez obtidas as dimensões do reator, foi realizado o desenho técnico do sistema proposto.

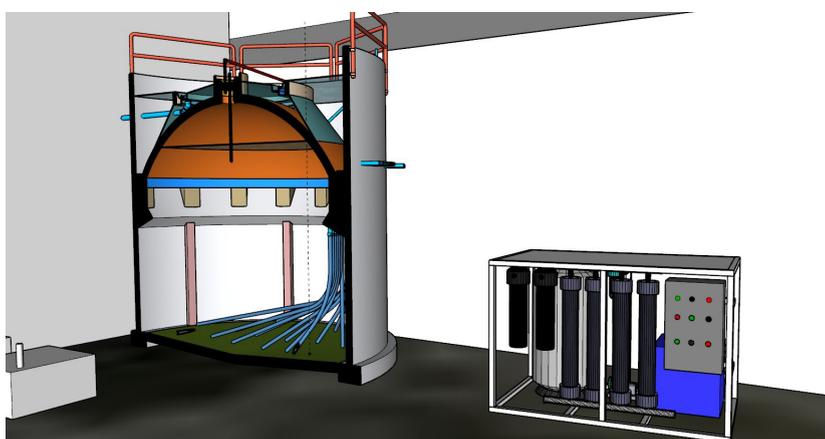


Figura 3: Desenho técnico do reator UASB junto às membranas UF.

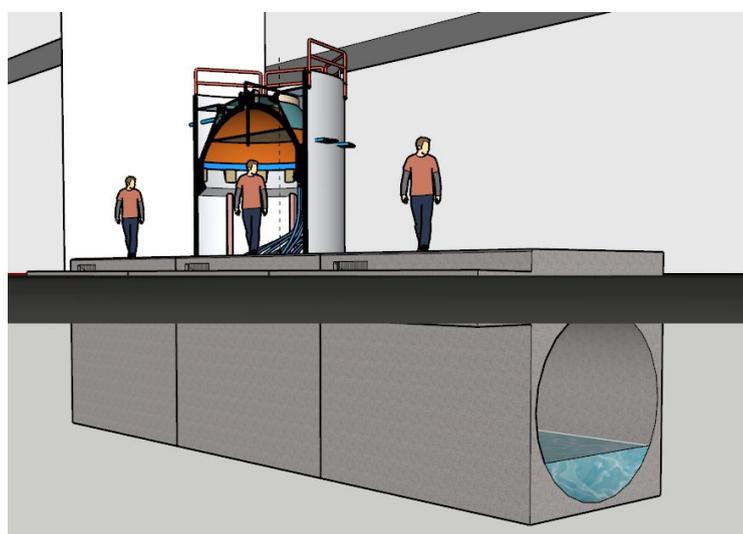
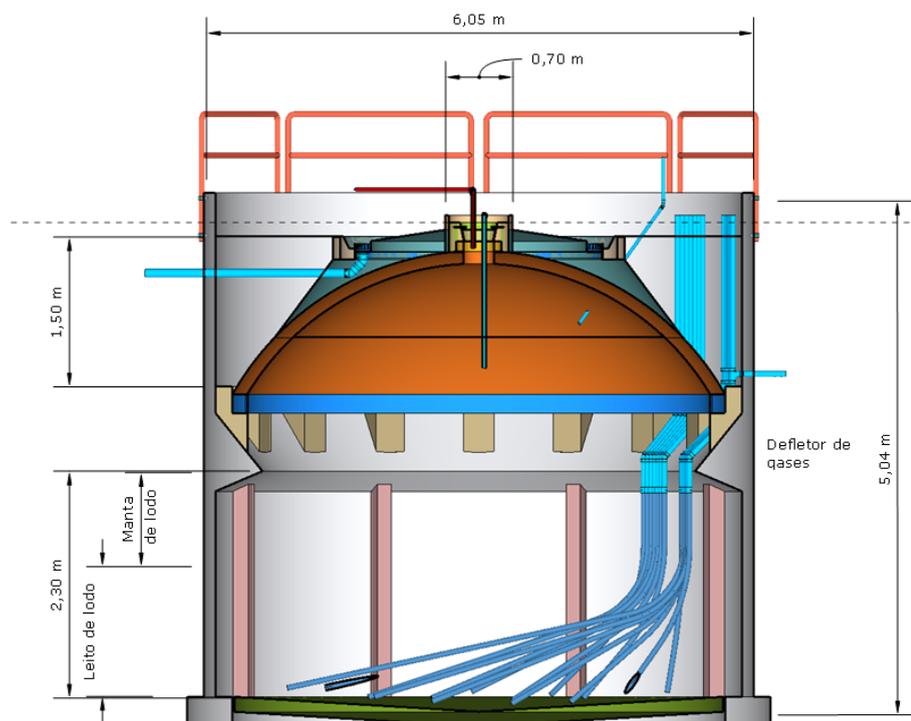


Figura 4: Desenho técnico do tanque de armazenamento do efluente.



**Figura 5: Desenho técnico do reator UASB.**

Para a estimativa do custo de implementação do reator proposto, foi utilizada a expressão apresentada por Jordão (2014) que relaciona a vazão de Estações de Tratamento (ETEs) com tratamento por UASB e pós-tratamento com os respectivos custos de implantação obtidos de 2002.

Sabe-se que após a implementação do projeto, haverá custos mensais relacionados à operação do reator. A estimativa desses custos foi realizada seguindo recomendações apresentadas por Von Sperling (2005), sendo então considerados consumo de energia, mão de obra, descarte de lodo e gestão de controle, que inclui a realização de análises biológicas e físico-químicas.

## 5 CONCLUSÃO

A tecnologia de reator UASB auxiliada ao filtro de membrana de ultrafiltração se mostrou eficiente, possuindo um adendo importante em relação ao tratamento em shopping center, a liberação de odores, já que se trata de um sistema anaeróbico. Para solução do mesmo, pode-se colocar um sistema de mascaramento e exaustão. Vale ressaltar o custo-benefício do projeto, do

qual trará um retorno financeiro e diminuição de custo com o tratamento de esgoto em cerca de sete meses.

## 6 REFERÊNCIAS

CAMPOS, Cláudio Milton Montenegro; MOCHIZUKI, Emerson Teruaki; DAMASCENO, Leonardo Henrique Soares; BOTELHO, Cláudia Gouvêa. **Avaliação do potencial de produção de biogás e da eficiência de tratamento do reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) alimentado com dejetos de suínos.** 2005. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-70542005000400018&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-70542005000400018&script=sci_arttext)>. Acesso em; Setembro, 2020;

CAPELLARI, Adalberto; CAPELLARI, Marta Botti. **A Água Como Bem Jurídico, Econômico e Social.** Cidades Online, 36. 2018. Disponível em: <<https://journals.openedition.org/cidades/657>>. Acesso em: Maio, 2020;

CETESB. **Reatores.** 2020. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/biogas/biogas/reatores/>>. Acesso em: Agosto, 2020;

CETESB. **Reuso de Água.** 2020. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/reuso-de-agua/>>. Acesso em: Novembro, 2020;

FELIZATTO, Mauro Roberto. **Tratamento De Esgotos Sanitários Usando Reator Uasb Seguido De Microfiltração Por Membrana Submersa.** 2017. Disponível em: <[http://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/05/FELIZATTO\\_\\_TESE.pdf](http://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/05/FELIZATTO__TESE.pdf)>. Acesso em: Outubro, 2020;

INCT ETE'S SUSTENTÁVEIS. **Principais Métodos de Tratamento de Esgoto.** UFMG, 2019. Disponível em: <<https://etes-sustentaveis.org/metodos-tratamento-de-esgoto/>>. Acesso em: Agosto, 2020;

KUNZ, Airton; STEINMETZ, Ricardo Luis Radis; AMARAL, André Cestonaro do. **Fundamentos da Digestão Anaeróbia, Purificação do biogás, Uso e Tratamento do Digestato.** Embrapa. Santa Catarina, 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1108617/fundamentos-da-digestao-anaerobia-purificacao-do-biogas-uso-e-tratamento-do-digestato>>. Acesso em: Setembro, 2020;

PESCADOR, Fernanda Santos. **Tratamento de Esgoto Doméstico em Reatores Sequenciais em Batelada Anaeróbios (RSBAn).** UFRS - Porto Alegre, 2001. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2484/000320442.pdf?sequence=1>>. Acesso em: Setembro, 2020;

RODRIGUES, Luciano S.; SILVA, Israel J. da; ZOCRATO, Manon C. de O.; PAPA, Débora N.; SPERLING, Marcos V.; OLIVEIRA, Paulo R. de. **Avaliação de desempenho de reator UASB no tratamento de águas residuárias de suinocultura.** Campina Grande, 2010. Disponível em:

<[https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662010000100013&script=sci\\_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662010000100013&script=sci_arttext&tlng=pt)>. Acesso em: Setembro, 2020;

SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto. **Sistemas de Tratamento de Esgotos**. Aracruz, 2006. Disponível em: <[https://www.saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento\\_de\\_Esgoto.pdf](https://www.saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento_de_Esgoto.pdf)>. Acesso em: Setembro, 2020;

SABESP. **Tipos de Tratamento**. 2020. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=61>>. Acesso em: Agosto, 2020;

SANTOS, André Felipe de melo Sales. **Tratamento Anaeróbio de Chorume em Conjunto com Esgoto Sanitário**. UFPE - Recife, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5182>>. Acesso em: Agosto, 2020;

SILVA, Layane Priscila de Azevedo; SANTOS, Hélio Rodrigues dos; FILHO, Marcos André Capitulino de Barros; FREITAS, Francisco Rafael Sousa. **Pós-tratamento De Efluente Sanitário Com Membrana De Ultrafiltração Visando Reúso Urbano Não Potável**. Congresso ABES, 2019. Disponível em: <<http://abes.locaweb.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento45/TrabalhosCompletoPDF/II-342.pdf>>. Acesso em: Outubro, 2020;

## TRATAMENTO DE ESGOTO DE *SHOPPING CENTER* PARA FINS DE LANÇAMENTO EM CORPO HÍDRICO E REDUÇÃO DE CUSTOS

Adriano Rocha, Charlon Silva, Clayton Oliveira, Cleuza Santos, Lohaine Rodrigues  
Alexandre Saron

Engenharia Ambiental e Sanitária Centro Universitário Senac  
<http://www.divulgacaocientifica.sp.senac.br/sua/>

### RESUMO

O presente artigo apresenta um trabalho acadêmico realizado pelo 8º semestre de graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Universitário Senac.

Uma das maiores preocupações de grandes empresas é o consumo de água em seus sistemas prediais, para tanto a conservação do recurso é uma necessidade cada vez mais frequente e crescente em decorrência da escassez de água potável nas cidades (NUNES, 2006).

Uma das maneiras de se conservar os sistemas hídricos, é realizar o tratamento dos efluentes gerados.

Para o projeto proposto, será apresentado o dimensionamento de um sistema de tratamento de

esgoto biológico anaeróbico (UASB), seguido por um filtro simples de areia, para o tratamento do esgoto de um *Shopping Center* do município de São Paulo.

Após tratado, o esgoto poderá ser lançado diretamente em corpo hídrico, o que permite ao *Shopping Center*, solicitar através da ARSESP (Agência Reguladora de Saneamento de Água e Energia do Estado de São Paulo) a não cobrança da tarifa de esgoto aplicada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), gerando uma redução de custos.

**PALAVRAS-CHAVE:** redução de custos, tratamento anaeróbico, tarifa de água.

## SHOPPING CENTER SEWAGE TREATMENT FOR PURPOSE DELIVERY IN WATER BODY AND COST REDUCTION

### ABSTRACT

This article presents an academic work carried out by the 8th semester of graduation in Environmental and Sanitary Engineering at Centro Universitário Senac.

One of the biggest concerns of large companies is the consumption of water in their building systems, therefore the conservation of the resource is an increasingly frequent and growing need due to the scarcity of drinking water in cities (NUNES, 2006). One of the ways to conserve water systems is to carry out the treatment of the generated effluents.

For the proposed project, the design of an anaerobic biological sewage treatment system (UASB), followed by

a simple sand filter, will be presented for the treatment of sewage from a Shopping Center in the city of São Paulo.

After treaty, the sewage can be released directly into the water body, which allows the Shopping Center, to request through ARSESP (Regulatory Agency of Water and Energy Sanitation of the State of São Paulo) the non-collection of the sewage tariff applied by the Basic Sanitation Company of the State of São Paulo Sabesp, generating a cost reduction.

**KEYWORDS:** cost reduction, anaerobic treatment, water tariff.

## 1. INTRODUÇÃO

Com a implementação de ações que realizem a conservação de água em nível micro podem propiciar grandes reduções no consumo de água, essas ações além de economia também proporcionam benefícios aos sistemas prediais e ganhos aos sistemas hidrográficos que por consequência aliviam os sistemas de abastecimento das cidades (OLIVEIRA, 1999 *apud* NUNES, 2006).

Existem diversos tipos de processos para o tratamento de esgoto, entre eles estão os processos biológicos. Os tratamentos biológicos são utilizados para remoção de matéria orgânica e eventualmente nutrientes (nitrogênio e fósforo), por meio da reprodução do processo de degradação biológica (CETESB, 2018).

Os processos biológicos são subdivididos em dois grandes grupos, os aeróbios e os anaeróbios. Há uma grande variedade de sistemas aeróbios de tratamento de águas residuais; as mais empregadas são lagoas facultativas, lagoas aeradas, filtros biológicos aeróbios, valos de oxidação, disposição controlada no solo e sem dúvida uma das opções mais utilizadas é o lodo ativado (GUIMARÃES; NOUR, 2001).

Para a concepção deste trabalho, realizou-se uma parceria com o Shopping Fiesta, localizado na Av. Guarapiranga, 752, Vila Socorro, na zona sul de São Paulo, com intenção de adequar a legislação para fins de lançamento em corpo hídrico e redução de custos. O Shopping parceiro recebe um público aproximado de 2.000 pessoas por dia. No local não existe um sistema de tratamento de esgoto, e conta apenas com um sistema de gradeamento e caixa de gordura para a remoção de sólidos grosseiros e das gorduras presentes na água residual, que antecedem ao lançamento do esgoto na rede coletora da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

A prática utilizada pelo Shopping Fiesta, de lançamento do esgoto na rede coletora da SABESP, inviabiliza a redução de custos em sua conta de água, que apresenta um consumo de 3.000 m<sup>3</sup>/mês, e é composta por cobrança de tarifas de água + esgoto, o que a coloca como a sua principal demanda de custos.

Com a proposta de redução de custos para o Shopping parceiro, neste trabalho será apresentado um sistema de tratamento de esgoto biológico anaeróbio (Reator UASB), seguido de um Filtro simples de areia, este, responsável pelo polimento final do efluente, para atender aos parâmetros de lançamento estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/11 e ao Decreto Estadual 8.468/76, viabilizando o lançamento do efluente direto em corpo hídrico, o que permite ao Shopping Center, solicitar através da ARSESP (Agência Reguladora de Saneamento de Água e Energia do Estado de São Paulo) a não cobrança da tarifa de esgoto aplicada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), gerando uma redução de custos.

Além dos dados do dimensionamento, também será apresentado o modelo em 3D do sistema de tratamento proposto.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para melhor compreensão dos principais processos em uma Estação de Tratamento de Esgoto para fins de lançamento em corpo hídrico, utilizou-se referências bibliográficas sobre um Reator UASB de fluxo ascendente e um filtro simples de areia. Com base também em palestras, que possibilitou a execução deste projeto da forma que se segue

### 2.1 Tratamento Preliminar

O tratamento preliminar é a primeira “barreira” nas ETE’s, sendo essencial para o sucesso das próximas etapas pois permite a proteção dos dispositivos de tratamento do esgoto, tais como: bombas, tubulações, raspadores, removedores, areadores, etc. Dessa forma, promove-se a diminuição do acúmulo de gordura nas unidades, atenuação de problemas de corrosão e incrustação, prevenindo odores desagradáveis e mau funcionamento desses dispositivos e remove parcialmente a carga poluidora, contribuindo para melhorar o desempenho das unidades subsequentes (Borges, 2014).

Os dispositivos de remoção de sólidos grosseiros (grades) são constituídos de barras de ferro ou aço paralelas, posicionadas transversalmente no canal de chegada dos esgotos na estação de tratamento, perpendiculares ou inclinadas, dependendo do dispositivo de remoção do material retido. As grades devem permitir o escoamento dos esgotos sem produzir grandes perdas de carga (Borges, 2014).

### 2.2 Processos Biológicos de tratamento de esgoto

Existem diversos tipos de processos para o tratamento de esgoto, entre eles estão os processos biológicos. Os tratamentos biológicos são utilizados para remoção de matéria orgânica e eventualmente nutrientes (nitrogênio e fósforo), por meio da reprodução do processo de degradação biológica que ocorre naturalmente em um corpo d’água (autodepuração), onde uma grande variedade de microrganismos utiliza a matéria orgânica disponível como alimento, convertendo essa matéria em gás carbônico, água e material celular devido ao seu crescimento e reprodução (CETESB, 2018).

Os processos biológicos são subdivididos em dois grandes grupos, os aeróbios e os anaeróbios. Há uma grande variedade de sistemas aeróbios de tratamento de águas residuais; as mais empregadas são lagoas facultativas, lagoas aeradas, filtros biológicos aeróbios, valos de oxidação, disposição controlada no solo e sem dúvida uma das opções mais utilizadas é o lodo ativado (GUIMARÃES; NOUR, 2001).

### 2.3 Tratamento Anaeróbio de Esgoto

O Tratamento Anaeróbio consiste num processo biológico, no qual um consórcio de diferentes tipos de microrganismos, na ausência de oxigênio molecular, promove a transformação de compostos orgânicos complexos (carboidratos, proteínas e lipídios) em produtos mais simples como metanos e gás carbônico (CHERNICHARO, 1999).

Segundo Fagundes (2010), no processo anaeróbio procura-se acelerar a digestão, criando condições favoráveis, tais como manutenção de grande massa de bactérias ativas, intenso contato entre o material orgânico do afluente e a massa bacteriana do sistema, temperatura e pH ótimos, presença de elementos nutrientes e ausência de materiais tóxicos no afluente.

As principais vantagens do reator anaeróbio em relação ao anaeróbio em relação ao aeróbio podem ser resumidas (FAGUNDES, 2010):

- Baixo consumo de energia;
- Menor produção de lodo, diminuindo os custos de disposição final;
- Redução dos custos para implantação e operação;
- Possibilidade de utilização do gás metano como combustível;
- Minimização da necessidade de atenção operacional;
- Bom funcionamento após períodos de paralisação;
- Lodo com características que favorecem desaguamento.

## 2.4 Digestão Anaeróbia

A digestão anaeróbia é um processo microbiológico em que na ausência de oxigênio a matéria orgânica é convertida biologicamente em uma mistura de gases, prioritariamente, metano e dióxido de carbono. A produção desses gases acontece em diversos ambientes naturais, por exemplo, nos pântanos, sedimentos de lagos e rios e no aparelho digestivo de animais superiores (CHERNICHARO, 1997).

A digestão anaeróbia requer interação das bactérias fermentativas e metanogênicas e o sucesso do processo depende de um balanço delicado do sistema ecológico. A etapa de produção de metano não necessariamente é a etapa limitante no processo, pois no caso de compostos complexos a hidrólise pode assumir este papel. Em relação a resíduos contendo substratos sólidos, a hidrólise é a etapa limitante no processo, sendo que pode ser a biodegradação de lipídios o fator limitante na digestão anaeróbia (VERSIANI, 2005).

## 2.5 Fatores que afetam o tratamento anaeróbio de esgoto

A eficiência do tratamento anaeróbio depende de fatores que interferem em seu funcionamento e nos processos (hidrólise, acidogênese, acetogênese, metanogênese). Esses fatores podem ser pH, temperatura, tempo de retenção e entre outros, apresentados abaixo.

- ✓ **pH:** As bactérias anaeróbicas são sensíveis a alteração de pH, que consequentemente afetará no organismo das bactérias e no processo da digestão anaeróbia. Uma faixa ótima de pH para desenvolvimento dos microrganismos está entre 6,5 e 7,5 (PESTANA, 2019).
- ✓ **Temperatura:** De acordo com Chernicharo (1997), a temperatura é um fator físico e ambiental que afeta o crescimento das bactérias anaeróbicas, as bactérias não são capazes de controlar sua temperatura interna, pois isso, é determinada a temperatura externa. As bactérias possuem 3 faixas de temperatura (Psicrófilas - sobrevivem entre 0 e 20 °C, Mesófila- sobrevivem entre 20 e 45 °C e Termófilas- sobrevivem entre 45 e 70 °C e acima) (LETTINGA, 1996 apud SOARES, 2017).
- ✓ **Tempo de retenção:** É o tempo necessário para que ocorra a digestão do substrato no biodigestor (COMASTRI FILHO, 1981 apud SOARES, 2017), o tempo

de retenção é a relação entre o volume do digestor e o volume da carga diária, e para saber a eficiência do biodigestor basta combinar o tempo de retenção com a taxa de decomposição dos sólidos (SALOMON, 2007 apud SOARES,2017);

- ✓ **Atividade Metanogênica:** Consiste em transformar o acetato e  $H_2/CO_3$  em  $CH_4$ , e formação do metano está ligado à quantidade de matéria orgânica (DQO) que foi consumida. A atividade metanogênica é obtida pela relação de DQO transformada em metano, por unidade de tempo, e a concentração de sólidos voláteis em suspensão (SSV), a partir desse processo, é realizado o monitoramento para saber o desempenho dos reatores anaeróbios (PESTANA,2019).

## 2.6 Reator UASB

O reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo pode ser nomeado como reator UASB, em inglês, ou “RAFA” ou “DAFA”, em português (FATEC-SP, CEETEPS, FAT, 2003). De acordo com Chernicharo (1997), o processo de tratamento que ocorre no UASB consiste em um fluxo ascendente de esgoto por um leito de lodo denso e de elevada atividade.

As partes principais de um reator UASB (Figura 1) são, da base ao topo (JORDÃO, 2014):

- I) Câmara de digestão;
- II) Separador de fases (defletor de gases);
- III) Zona de transição entre a câmara de digestão e a zona de sedimentação superior;
- IV) Zona de sedimentação;
- V) Zona de acumulação de gás.

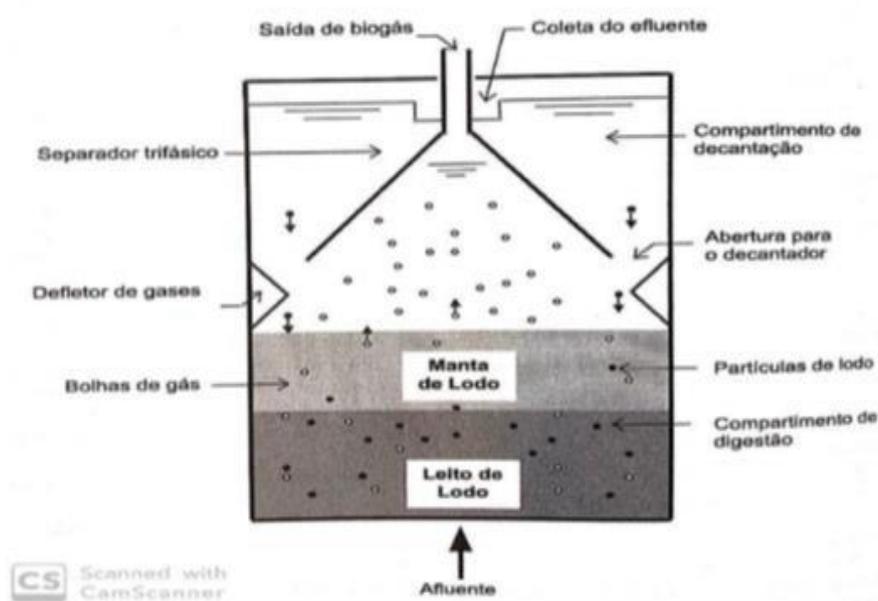


Figura 1: Representação esquemática de reator UASB.  
Fonte: JORDÃO, 2014.

O reator UASB costuma obter uma eficiência média de 65% de remoção de DQO (demanda química de oxigênio) e 70% de remoção de DBO (demanda bioquímica de oxigênio) (JORDÃO, 2014)

Para a realização do dimensionamento do reator UASB é necessário adquirir alguns parâmetros importantes, que são, segundo Chernicharo (1999) apud Rissoli (2004): Vazão média (Q<sub>média</sub>); Carga orgânica volumétrica (kgDQO/m<sup>3</sup>·d); Tempo de Detenção Hidráulica (TDH); Carga Hidráulica Volumétrica (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>·d); Carga Biológica (kgDQO/kgSVT·d); Velocidade superficial do fluxo e Taxa de aplicação superficial e tempos de detenção hidráulica no compartimento de decantação.

## 2.7 Filtração

Para MARTINS (2006) a filtração é um processo físico em que a água atravessa um leito filtrante, em geral areia ou areia e carvão, de modo que partículas em suspensão sejam retidas produzindo um efluente mais limpo. A operação unitária denominada filtração, para este projeto de engenharia será de um filtro com escoamento descendente e de filtração rápida, pois haverá o processo de coagulação e decantação da matéria orgânica, antecedente a esta etapa.

Os filtros podem ser subdividido em dois tipos: os filtros simples compostos por um único leito filtrante e os filtros duplos compostos por duas camadas de leitos filtrantes. Os filtros simples geralmente possuem uma área inferior a 70 m<sup>2</sup> e os filtros duplos uma área superior a 40 m<sup>2</sup> (RICHTER, 2009).

Existem dois processos distintos de filtração, a filtração lenta e filtração rápida a escolha dos métodos vai depender sobretudo da qualidade da água bruta e do volume a ser tratado que pode implicar diferenças no projeto da ETA (MARTINS, 2006).

Os filtros rápidos tornam-se unidades essenciais em uma estação convencional, e por isso exigem cuidadosa operação. São projetados a partir da taxa de filtração geralmente compreendida entre 120 (com leito simples de areia) e 300 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia, dependendo da qualidade de operação, do sentido do fluxo, se de leito simples ou duplo, etc. (MARTINS, 2006).

## 3. METODOLOGIA

Para desenvolvimento do projeto, foram levantados dados secundários sobre o tratamento biológico de efluentes, os parâmetros envolvidos para aprofundar conhecimentos sobre o tema do projeto e possibilitar o entendimento e dimensionamento do sistema de tratamento de esgoto proposto.

No dia 23 de agosto de 2020, o grupo foi até o local de estudo para realizar um levantamento de dados primários, no qual tivemos a informação sobre o número de frequentadores do Shopping Center.

No dia 26 de agosto de 2020 foi organizada uma palestra por webconferência sobre as tecnologias (Lodos ativados e MBR) de tratamento de esgoto da General Waters para fins de reúso em shopping centers com o Sr. Cesar Ribeiro.

No dia 31 de agosto de 2020 foi realizada uma palestra por webconferência com Sra. Marcela Moretti sobre as tecnologias (reator UASB, Lodos Ativados, MBR e MBBR) mais utilizadas atualmente.

Além dos dados levantados para fundamentação teórica do projeto, também foram necessários o levantamento de dados sobre um determinado *Shopping Center*, para fins de parceria e realização do dimensionamento do sistema de tratamento de esgoto. Para isso, foi escolhido como objeto de estudo o *Shopping Fiesta* apresentado na figura 2, está localizado na Av. Guarapiranga, 752, Vila Socorro, São Paulo – SP

Com a obtenção dos dados, realizou-se o dimensionamento de um Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB), e como tratamento complementar, foi dimensionado um filtro simples de areia para o polimento final do efluente, para fins de adequação aos padrões de lançamento estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 430 de 2011 e pelo Decreto Estadual n° 8468 de 1976. No entanto, utilizou-se o Decreto Estadual como base legal para este projeto por ser a legislação mais restritiva.

Os cálculos realizados para o dimensionamento do sistema de tratamento de esgoto do *Shopping Center*, foram desenvolvidos conforme dados apresentados por CHERNICHARO (1997) e outras literaturas técnicas. Por fim, elaborou-se um desenho técnico em 3D do sistema de tratamento proposto.

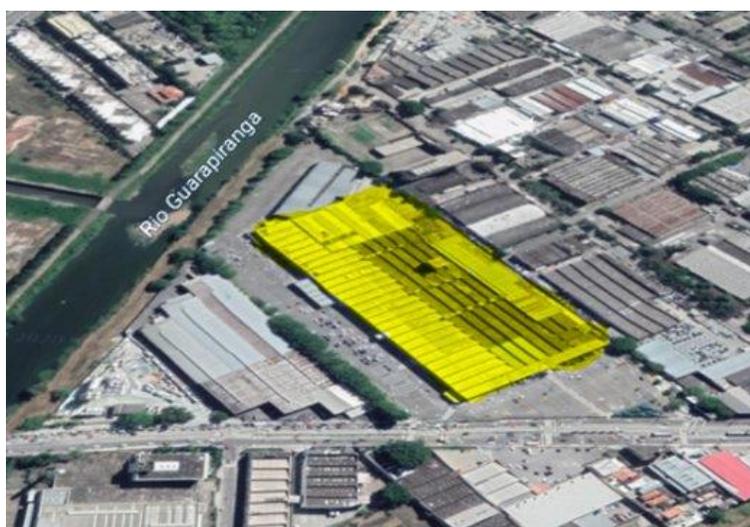


Figura 2: Área do *Shopping Fiesta*.  
Fonte: Autoria Própria, 2020

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O dimensionamento deste projeto, foi realizado conforme dados apresentados por Chernicharo (1997) e dados levantados em outras literaturas técnicas. Os dados obtidos para o dimensionamento do Reator UASB, são apresentados na tabela 1.

Após o esgoto passar pelo Reator UASB, este, ainda contém material particulado, o que impede seu lançamento direto em corpo hídrico, por esta razão, se fez necessário o desenvolvimento de um sistema de polimento final do efluente, para fins de adequação aos padrões de lançamento

direto estabelecidos pelo Decreto Estadual 8.468/76, neste sentido, realizou-se o dimensionamento de um filtro simples de areia, conforme especificações apresentadas na tabela 2. Para a retrolavagem do filtro, dimensionou-se um reservatório com capacidade volumétrica de  $0,5 \text{ m}^3$ .

A figura 3 abaixo, apresenta o desenho técnico do sistema de tratamento completo em 3D, e a tabela 3, apresenta as dimensões encontradas para cada compartimento do sistema.

No reservatório de água para retrolavagem, será utilizada uma bomba de recalque com  $0,250 \text{ CV}$  de potência.

Reator UASB		
Especificações	Dados	
População	2.000	hab/dia
Vazão per capita	50	L/hab*dia
Taxa de retorno	0,8	-
consumo de água	80	$\text{m}^3/\text{dia}$
Vazão média	3,34	$\text{m}^3/\text{h}$
Concentração de DBO	0,250	$\text{kg}/\text{m}^3$
Concentração de DQO	0,500	$\text{kg}/\text{m}^3$
TDH	8	h

Tabela 1: Dados do dimensionamento do Reator  
Fonte: Autoria Própria, 2020

Especificações	Altura das camadas (m)		Granulometria NBR 12.216/96 (mm)
Camada filtrante	Areia	0,5	0,35 – 0,45
Camada suporte	Areia torpedo	0,1	2,4 – 3,2
	Pedregulho 1	0,12	6,4 – 12,7
	Pedregulho 2	0,15	19,0 – 38,0
	Pedregulho 3	0,18	38,0 – 75,0
Fundo Falso	Crepina	0,2	-
Expansão da camada filtrante		0,15	-
Segurança		0,1	-
<b>Total</b>		<b>1,5</b>	<b>-</b>

Tabela 2: Especificações Técnicas do filtro de areia  
Fonte: Autoria Própria, 2020.

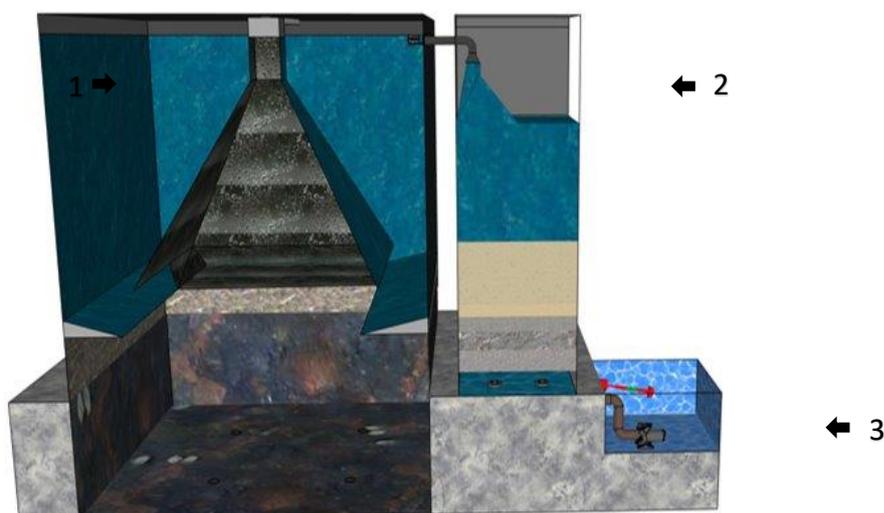


Figura 3: Desenho técnico do sistema de tratamento em 3D.  
Fonte: Autoria Própria, 2020.

COMPARTIMENTOS DIMENSIONADOS	LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	VOLUME ( $\text{m}^3$ )
1. Reator UASB	3	3	4	36
2. Filtro de areia	1	1	3	3
3. Reservatório	1	1	0,5	0,5

Tabela 3: Dados do dimensionamento obtido para o sistema de tratamento proposto.  
Fonte: Autoria Própria, 2020

Com o intuito de dar uma destinação adequada para o material particulado oriundo da retrolavagem do filtro, optou-se pelo uso de um Bag desidratador conforme especificações apresentadas na tabela 4 abaixo, sendo, o percolado lançado direto em corpo hídrico e o material retido no interior do Bag direcionado para Aterro Sanitário.

Largura (m)	Comprimento (m)	Vazão (m <sup>3</sup> / h)
0,5	1,0	5

Tabela 4: Dimensões do Bag desidratador para o projeto.

Fonte: Autoria Própria, 2020.

#### 4.1 Estimativas de Custos

As estimativas de custos de implantação e de custos fixos do projeto, são apresentadas nas tabelas 5 e 6 respectivamente.

Custo do Empreendimento	Quantidade	Unidade	Valor Unitário	Valores totais
Reator UASB	1		R\$ 60.000,00	R\$ 60.000,00
Filtro de areia	1		R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
Areia	1.275	Kg	R\$ 4,00	R\$ 5.100,00
Areia torpédo	310	Kg	R\$ 1,50	R\$ 465,00
Pedregulho 1	318	Kg	R\$ 1,50	R\$ 477,00
Pedregulho 2	397,5	Kg	R\$ 1,50	R\$ 596,25
Pedregulho 3	477	Kg	R\$ 1,50	R\$ 715,50
Bag desidratador	1	uni.	R\$ 508,10	R\$ 508,10
ART	1		R\$ 233,94	R\$ 233,94
Engenheiro Cível	1	hora/mês	R\$ 72,81	R\$ 10.950,00
Serviços de Alvenária / Estrutural	1	mês	R\$ 100.000,00	R\$ 100.000,00
Bomba centrífuga multiuso Dancor Pratika CP-4c 1/2 CV	1	uni.	R\$ 696,00	R\$ 696,00
Tubo Esgoto Série Normal PVC 3m DN75 Tigre	20	uni.	R\$ 34,57	R\$ 700,00
Engenheiro Ambiental	1	hora/mês	R\$ 68,52	R\$ 10.350,00
Treinamento pós obra	10	dia	R\$ 3.500,00	R\$ 3.500,00
<b>Custo total</b>				<b>R\$199.291,79</b>

Tabela 5: Estimativa de custos de implantação do projeto.

Fonte: Autoria Própria, 2020.

Item	Valor mensal	Valor trimestral	Valor semestral
Mão de Obra	R\$2.900,00	R\$2.900,00	R\$2.900,00
Gestão de Controle	R\$850,00	R\$850,00	R\$850,00
Manutenção preventiva	-	R\$1.800,00	R\$1.800,00
Descarte do lodo	-	-	R\$1.250,00
<b>Total</b>	<b>R\$3.750,00</b>	<b>R\$5.550,00</b>	<b>R\$6.800,00</b>

Tabela 6: Estimativa de custos fixos.

Fonte: Autoria Própria, 2020.

## 4.2 Retorno Financeiro

Considerando a tarifa de R\$21,11 aplicada pela Sabesp, para a categoria comercial comum no município de São Paulo – SP, foi estimada uma conta de água mensal de R\$126.085,50 (tarifa água+esgoto), considerando um volume de consumo de 3.000 m<sup>3</sup>/mês.

O tratamento do esgoto por meio do sistema proposto, permite ao *Shopping Center*, solicitar através da ARSESP (Agência Reguladora de Saneamento de Água e Energia do Estado de São Paulo) a não cobrança da tarifa de esgoto aplicada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), proporcionando uma economia de R\$63.042,76 correspondente a 50% do valor total da conta de água ao deixar de pagar a tarifa de esgoto, com isso, o retorno financeiro previsto é de aproximadamente 4 meses.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo CHERNICHARO (1997) a estimativa de eficiência do Reator UASB é de 70% na remoção da DBO, portanto, o filtro simples de areia desenvolvido para o projeto foi o sistema responsável pelo polimento final, garantindo a adequação do efluente aos padrões de lançamento de no mínimo 80% conforme estabelecido pelo Decreto Estadual nº 8.468 de 1976, utilizado como base legal do projeto, por ser a legislação mais restritiva que a Resolução CONAMA nº 430 de 2011.

Com a redução de 50% nos custos na conta de água e com o retorno de investimento previsto para 4 meses, portanto, torna-se viável a implementação do sistema de tratamento proposto.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DE SÃO PAULO. **Decreto Estadual nº 8468 de 08 de setembro de 1976.**

Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1976/decreto-8468-08.09.1976.html#:~:text=Publicado%20na%20Casa%20Civil%2C%20aos%206%20de%20setembro%20de%201976.&text=Das%20Disposi%C3%A7%C3%B5es%20Preliminares-,Artigo%201.,no%20ar%20ou%20no%20solo>. Acesso em: 31. ago. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 12216: **Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público.** Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

BORGES, N. Batista. **Aproveitamento dos resíduos gerados no tratamento preliminar de estações de tratamento de esgoto, 2014.** Disponível em: <[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-16012015-153958/publico/Tese\\_Borges\\_2014.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-16012015-153958/publico/Tese_Borges_2014.pdf)>. Acesso em: 21. Out.2020.

CETESB. **Fundamentos do controle de poluição das águas.** Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/posgraduacao/wp-content/uploads/sites/33/2018/07/Apostila-Fundamentos-do-Controle-de-Polui%C3%A7%C3%A3o-das-%C3%81guas.pdf>  
Acesso em: 07. set. 2020.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Reatores anaeróbios.** 2ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997.

- CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos; HAANDEL, Adrianus Van; AISSE, Miguel Mansur; CAVALCANTI, Paula Frassinetti Feitosa. **Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo**. In: CAMPOS, J.R. et al. **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. Rio de Janeiro/RJ: ABES, 1999. Cap. 7, p. 155-197. Acesso em: 31. ago.2020.
- FAGUNDES, Thalita Salgado. **Uso de polímero Natural a Base de Amido como Auxiliar de floculação no pós-tratamento de efluentes UASB com Flotação por Ar Dissolvido**. 2010. 111 f. Monografia (Graduação de Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <[www.tcc.sc.usp.br](http://www.tcc.sc.usp.br)>. Acesso em: 31 de ago. 2020.
- FATEC-SP; CEETEPS; FAT. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. São Paulo: Editora Blücher, 2003.
- GUIMARÃES, José Roberto e NOUR, Edson Aparecido. **Tratando Nossos Esgotos: Processos que imitam a natureza**. Disponível em: [ft.unicamp.br/~mariaacm/ST405/Esgoto.pdf](http://ft.unicamp.br/~mariaacm/ST405/Esgoto.pdf). Acesso em: 07. set. 2020.
- JORDÃO, EDUARDO PACHECO; PESSOA, CONSTANTINO ARRUDA. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 7ª ED. RIO DE JANEIRO: ABES, 2014.
- MMA. **Resolução CONAMA nº430 de maio de 2011**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/res43011.pdf>. Acesso em: 31 de ago. 2020.
- NUNES, Riane Torres Santiago. **Conservação de água em edifícios comerciais: Potencial de uso racional e reuso em shopping center**. 2006. 157 f. Dissertação (Pós-graduação de Engenharia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://antigo.ppe.ufri.br/ppes/production/tesis/rtsnunes.pdf>>. Acesso em: 31.ago. 2020.
- PESTANA, Marcelo; GANGHIS Diógenes. **Tratamento de Efluentes. 2019**. Disponível em:<[http://www.ifba.edu.br/professores/diogenesgaghis/TE\\_Tratamento%20de%20Efluentes/Apostila%20Tratamento%20de%20Efluentes.doc](http://www.ifba.edu.br/professores/diogenesgaghis/TE_Tratamento%20de%20Efluentes/Apostila%20Tratamento%20de%20Efluentes.doc)>. Acesso em: 31 ago. 2020.
- RICHTER, Carlos A. **Água: métodos e tecnologias de tratamento**. São Paulo: Editora Blucher, 2009.
- RISSOLI, Cesar Augusto. **Estudo de parâmetros operacionais do reator UASB tratando esgoto doméstico e avaliação da biodegradabilidade do seu efluente**. 2004. 141 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2004. Disponível em: <<https://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/03/CesarAugusto.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2020.
- SOARES, Caroline Monique Tietz; FEIDEN, Armin; TAVARES, Sidnei Gregório. **Fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia na produção de biogás**, 2017. Disponível em: <<http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/download/4491/3764>>. Acesso em: 31 ago. 2020.
- VERSIANI, Betina Maciel. **Desempenho de um reator UASB submetido a diferentes condições operacionais tratando esgotos sanitários do campus da UFRJ**. 2005. 20 f. Dissertação

(Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.<<http://www.saneamento.poli.ufrj.br/images/Documento/dissertacoes/Betina-Maciel-Versiani.pdf>>. Acesso em: 07. Set. 2020.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2005.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 4ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2016.

**TRATAMENTO DE EFLUENTE DE SHOPPING CENTER - REATOR UASB**

**Evelin Jobert, Maisa Cardoso, Murillo Bazarin, Sabrina Ito  
Alexandre Saron**

Engenharia Ambiental e Sanitária, Centro Universitário Senac  
<http://www.divulgacaocientifica.sp.senac.br/sua/>

**RESUMO**

Este trabalho é um Projeto Executivo de Estação de Tratamento de Esgoto – ETE, desenvolvido para o shopping center Eldorado, localizado no bairro de Pinheiros, zona oeste da cidade de São Paulo. A tecnologia escolhida para o tratamento do efluente foi o Reator UASB, seguido de um Filtro Anaeróbio e desinfecção ultravioleta. A metodologia utilizada no dimensionamento da ETE consistiu na estimativa

populacional de frequentadores do local, da contribuição per capita de esgoto, uso de literatura técnica, além da ABNT: NBR 12.209/2011. A potencialidade para a implementação da obra ocorreu através da análise de um balanço hídrico do local. O esgoto tratado poderá ser usado para fins de reuso, na lavagem do estacionamento do shopping e rega das plantas.

**PALAVRAS-CHAVE:** ETE, Reator UASB, Filtro Anaeróbio.

**SHOPPING CENTER EFFLUENT TREATMENT - UASB REACTOR****ABSTRACT**

This work is an Executive Project for a Sewage Treatment Plant - ETE, developed for the Eldorado shopping center, located in the Pinheiros neighborhood, west of the city of São Paulo. The technology chosen for the treatment of the effluent was the UASB Reactor, followed by an Anaerobic Filter and ultraviolet disinfection. The methodology used in the design of the ETE consisted of

the population estimate of visitors to the site, the per capita contribution of sewage, use of technical literature, in addition to ABNT: NBR 12.209 / 2011. The potential for the implementation of the work occurred through the analysis of a water balance of the site. The treated sewage can be used for reuse purposes, for washing the shopping mall parking lot and watering the plants.

**KEYWORDS:** ETE, UASB Reactor, Anaerobic Filter.

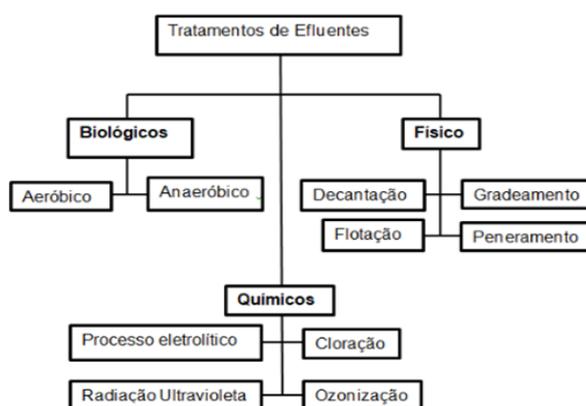


## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica será apresentada com objetivo de esclarecer os processos e parâmetros envolvidos nesse trabalho.

### 2.1 Tratamento do efluente

Como mostra o fluxograma 1, o sistema de tratamento de efluentes é constituído por uma série de etapas e processos, os quais são empregados para a remoção de substâncias indesejáveis da água ou para sua transformação em outra forma que seja aceitável pela legislação ambiental, os principais processos de tratamento são reunidos em um grupo distinto, sendo eles os processos físicos, químicos e biológicos (PROJETO MUNICIPIO VERDE, 2012).



Fluxograma 1: Processo de tratamento de efluente

Fonte: Adaptado de Marcondes, 2012.

### 2.2 Tratamento anaeróbio de esgoto

O tratamento anaeróbio consiste num processo biológico, no qual um consórcio de diferentes tipos de microrganismos, na ausência de oxigênio, promove a transformação de composto orgânico complexo (carboidratos, proteínas e lipídios) em produtos mais simples como metano e gás carbônico (Chernicharo et al., 2001). A tabela 1 apresenta as principais vantagens e desvantagens do processo anaeróbio.

Vantagens	Desvantagens
Menor consumo de energia	Maior período de partida para desenvolvimento da biomassa necessária
Menor produção de lodos biológicos	Pode requerer a adição de alcalinizante
Menor necessidade de nutriente	Mais sensíveis aos efeitos negativos da baixa temperatura nas taxas de reação
Eliminação da poluição do ar pelos gases de exaustão	Potencial para geração de maus odores e gases corrosivos
Processo de pré-tratamento eficaz	Não possibilita a remoção biológica de nitrogênio ou fósforo
Potencial para baixa pegada de carbono	

**Tabela 1: Vantagens e Desvantagens dos processos anaeróbios**

Fonte: Adaptado de Metcall e Eddy, 2016.

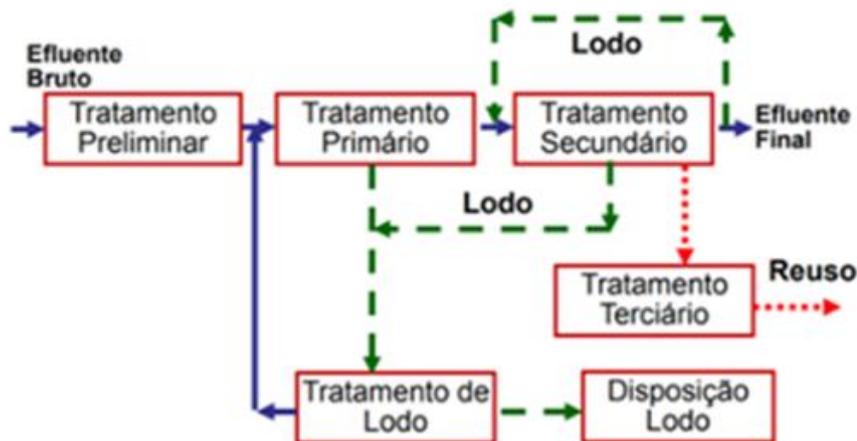
### 2.2.1 Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia é um processo biológico de decomposição de matéria orgânica que, através do metabolismo dos microrganismos anaeróbios, é convertida em lodo biológico, líquido e gases, ela normalmente é considerada um processo de dois estágios: No primeiro estágio atuam as bactérias anaeróbias e facultativa, denominada formadora de ácidos. Segundo SILVA, 2009 apud FUENTES et al, (2008), compostos orgânicos complexos do tipo carboidratos, lipídios e proteínas são convertidos em outros compostos mais simples, principalmente, ácidos voláteis. No segundo estágio atuam bactérias estritamente anaeróbias, as quais convertem os ácidos orgânicos em produtos gasosos como metano e gás carbônico, (SILVA,2009).

No processo da digestão, onde ocorre a conversão da matéria orgânica em ausência de oxigênio molecular, são utilizados como aceptores finais de elétrons íons do tipo  $\text{NO}_3$ , resultando na redução de nitrato a nitrogênio molecular;  $\text{SO}_4^{2-}$  na redução de sulfato a gás sulfídrico  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{CO}_2$  reduzindo-se a metano. Não é possível a produção de metano em ambientes onde se encontra exclusivamente oxigênio, nitrato ou sulfato funcionando prontamente como aceptores finais de elétrons, (SILVA,2009).

### 2.2.2 Etapas do tratamento do efluente

As Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs), são responsáveis pelo processo de “limpeza” dos efluentes para que estes retornem ao meio ambiente de acordo com o Fluxograma 2.



**Fluxograma 2: Estação de tratamento convencional.**

Fonte: CETESB, 2018.

### 2.2.3 Tratamento Preliminar

Sólidos Grosseiros ⇔ Processos Físicos

O tratamento primário constitui-se de processos físicos que buscam remover os sólidos em suspensão sedimentáveis, materiais flutuantes e matéria orgânica.

Os processos constituem diversas etapas, são inseridos produtos químicos nos efluentes para neutralização da carga, ocorre a floculação do efluente (agrupamento das partículas poluentes) para a próxima etapa.

Após a floculação, tem-se a decantação primária que separa o sólido (lodo) e o líquido (efluente bruto). Os efluentes passam por decantadores que fazem o lodo ficar no fundo do tanque. Essa etapa do tratamento é importante porque inicia a alteração das propriedades poluidora dos efluentes.

### 2.2.4 Tratamento Primário

Sólidos Sedimentáveis ⇔ Processos Físicos

O tratamento primário constitui-se de processos físicos que buscam remover os sólidos em suspensão sedimentáveis, materiais flutuantes e matéria orgânica.

Os processos constituem diversas etapas, são inseridos produtos químicos nos efluentes para neutralização da carga, ocorre a floculação do efluente (agrupamento das partículas poluentes) para a próxima etapa.

Após a floculação, tem-se a decantação primária que separa o sólido (lodo) e o líquido (efluente bruto). Os efluentes passam por decantadores que fazem o lodo ficar no fundo do tanque. Essa etapa do tratamento é importante porque inicia a alteração das propriedades poluidora dos efluentes.

### 2.2.5 Tratamento Secundário

#### Matéria Orgânica ⇔ Processos Biológicos

Nesse caso, são usados tratamentos biológicos para a retirada de substâncias biodegradáveis presentes no efluente. Isso significa que os métodos de tratamentos secundários de efluentes visam à remoção da matéria orgânica, que pode estar dissolvida (DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) solúvel) ou em suspensão (DBO suspensa ou particulada), por meio de métodos que aceleram o processo de decomposição dos poluentes orgânicos que ocorreria de maneira natural, porém mais lentamente.

Os processos aeróbicos e anaeróbicos trabalham na composição da matéria orgânica suspensa e a dissolvida na água que resultam em gás carbônico, material celular e água. O efluente ao final desse processo sai com até 95% livre de poluentes (EOS Organização e Sistemas,2020).

### 2.2.6 Tratamento Terciário

#### Poluentes Específicos ⇔ Depende do Poluente

Após o tratamento secundário, a água já pode retornar aos recursos hídricos. Entretanto, pode-se passar o efluente por outro tratamento para ser reutilizá-lo com fins não potáveis. Essa reutilização é importante para a escassez de água.

o tratamento terciário serve para remover essas substâncias através de técnicas de filtração, ozonização, cloração, osmose reversa, dentre muitas outras. Dessa forma, o tratamento terciário consiste em aplicar técnicas para remover poluentes específicos que não foram retirados pelos processos mais comuns (EOS Organização e Sistemas, 2020).

Estimativa da eficiência de remoção esperada nas diversas etapas de tratamento incorporados numa ETE (tabela 2).

Tipo de tratamento	Matéria orgânica (% DBO)	Sólidos em suspensão (% SS)	Nutrientes (% nutrientes)	Bactérias (% remoção)
Preliminar	5 – 10	5 – 20	Não remove	10 – 20
Primário	25 – 50	40 – 70	Não remove	25 – 75
Secudário	80 – 95	65 – 95	Pode remover	70 – 99
Terciário	40 - 99	80 – 99	Até 99	Até 99,999

**Tabela 2: Estimativa de eficiência nos diversos tipos de tratamento numa ETE.**

**Fonte: (CETESB, 1988).**

### 2.2.7 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo

Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo ou reator UASB tem origem no início do século XX com o tanque hidrolítico de Travis ou, mais propriamente, com o tanque Biolítico de Phelps. Esses sistemas eram reatores de lodo ativo sobre a fase líquida, com biomassa não aderida e leito pouco expandido.

No reator *UASB*, o afluente escoa em fluxo ascendente, até o topo do reator, atravessando três camadas (Figura 2), o leito de lodo, onde há maior concentração de biomassa ativa, seguida por uma camada contendo uma biomassa menos densa, denominada manta de lodo e finalmente passa por um separador de três fases, onde ocorre a separação dos sólidos, do líquido e do biogás formado no tratamento (Cruz, 2013 apud Chernicharo e Campos, 1992).

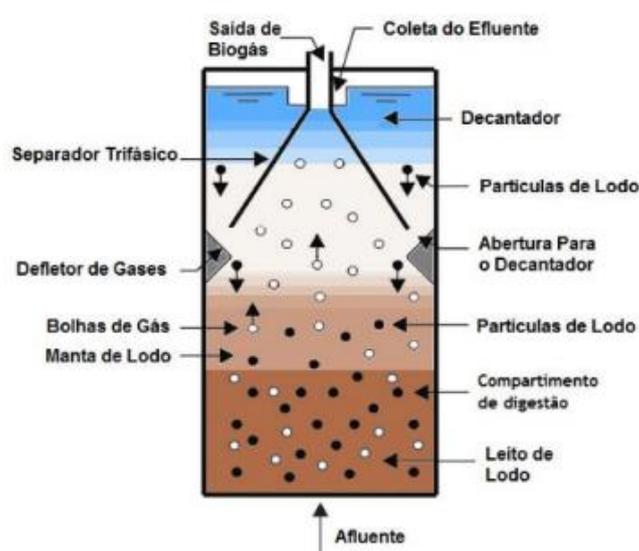


Figura 2: Esquema interno de um reator UASB.

Fonte: Borges e Santos, 2013 apud Chernicharo, 2007.

Segundo Foresti (2002), estes reatores satisfazem as principais características requeridas em um sistema de tratamento de efluentes, apresentando alta capacidade de retenção de biomassa em seu interior, o que permite trabalhar com altos tempos de 19 retenção dos microrganismos, baixa necessidade de adição de nutrientes, baixa produção de lodo, elevada estabilidade em situações de variações das características da água residuária, suporta o tratamento de altas cargas orgânicas e baixo custo de construção, instalação e operação comparado ao custo dos sistemas de tratamento aeróbio (Cruz, 2013).

O dispositivo de separação de gases e sólidos, localizado acima da zona de digestão, garante condições adequadas para a sedimentação das partículas sólidas carregadas pelo biogás, que se desgarraram da manta de lodo, permitindo que estas partículas retornem à câmara de digestão, ao invés de serem arrastadas para fora do sistema. O esgoto deixa o reator através de um decantador interno localizado na parte superior do reator, chamado trifásico que tem como objetivo fazer a separação de gases

e sólidos do meio líquido. O principal objetivo desse princípio é a criação de uma zona propícia à sedimentação dentro do próprio reator, (Lettinga et al., 1984).

Entre as principais vantagens da utilização do reator *UASB* pode-se citar:

- Sistema de fácil construção, simples operação e manutenção;
- Sistema compacto, com baixa demanda de área, podendo atender inclusive regiões muito urbanizadas. O reator *UASB* ocupa uma área até 500 vezes menor que as lagoas de estabilização (Vieira, 1984);
- Baixo consumo de energia, que se limita apenas a elevatórias de chegada de esgoto, quando se fazem necessárias;
- A produção de lodo é baixa e o lodo excedente já sai estabilizado (Von Sperling, 1995);

O projeto de reatores de manta de lodo é bastante simples e não demanda a implantação de qualquer equipamento sofisticado ou de meios suportes para a retenção da biomassa. Os reatores de manta de lodo têm sido aplicados também para o tratamento de esgotos de baixa concentração, com resultados bastante promissores (Chernicharo & Campos, 1995).

As principais desvantagens do processo são:

- Elevado intervalo de tempo para a partida do processo, dependendo da utilização de inóculo e da sua qualidade (Chernicharo & Campos, 1992);
- Dificuldade em satisfazer padrões restritivos de lançamento, necessitando de pós-tratamento;
- A remoção de patogênicos, N e P geralmente é insatisfatória;
- É um sistema sensível a variações de carga.

#### 2.2.8 Filtro anaeróbio

O filtro anaeróbio ascendente é basicamente uma unidade de contato, na qual os esgotos passam através de uma massa de sólidos biológicos contida dentro do reator. A biomassa retida no reator pode se apresentar em três formas distintas:

- Na forma de uma fina camada de biofilme aderido às superfícies do material suporte;
- Na forma de biomassa dispersa retida nos interstícios do material suporte;
- Na forma de grânulos ou flocos retidos no fundo falso, abaixo do material suporte.

Os compostos orgânicos solúveis contidos no esgoto afluente entram em contato com a biomassa, difundindo-se através das superfícies do biofilme ou do lodo granular,

sendo então convertidos em produtos intermediários e finais, especificamente metano e gás carbônico.

As configurações usuais de filtros anaeróbios apresentam fluxo ascendente ou descendente. Nos filtros ascendentes, o leito é necessariamente submerso (afogado). A figura 3 apresenta cortes esquemáticos de filtros anaeróbios ascendentes, onde podem ser observados os principais dispositivos que garantem o funcionamento da unidade de tratamento.

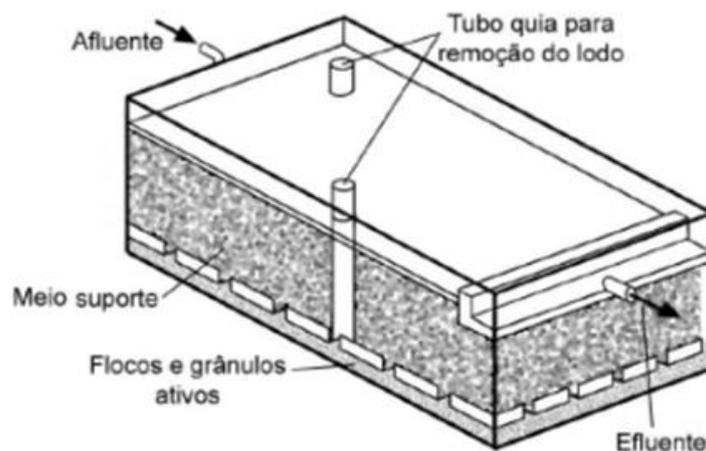


Figura 3: Filtro anaeróbio ascendente. Fonte: Chernicharo, 2007.

### 2.2.9 Configuração do filtro

Os filtros anaeróbios podem ter várias formas, configurações e dimensões, desde que se obtenha um fluxo bem distribuído através do leito. Em escala plena, os filtros normalmente apresentam forma cilíndrica ou retangular, com os tanques variando em diâmetro (ou largura) de 6 a 26 metros e altura de 3 até cerca de 13 metros. Os volumes dos reatores têm variado de 100 a 10.000 m<sup>3</sup>. Os meios suportes têm sido projetados ocupando, desde a profundidade total do reator, até cerca de 50 a 70% da altura dos tanques. Existem diferentes tipos de meios suporte plásticos disponíveis no mercado, variando, desde anéis corrugados, até blocos de placas corrugadas.

### 2.2.10 Meio suporte

A finalidade do material suporte é a de reter sólidos no interior do filtro, seja através do biofilme formado na superfície do material suporte, seja através da retenção de sólidos nos interstícios do meio ou abaixo deste. São as seguintes as principais finalidades da camada suporte:

- Atuar como um dispositivo para separar os sólidos dos gases;
- Ajudar a promover a uniformização do escoamento no reator;
- Melhorar o contato entre os constituintes do despejo afluente e os sólidos biológicos contidos no filtro,

- Permitir o acúmulo de grande quantidade de biomassa, com o consequente aumento do tempo de retenção celular;
- Atuar como barreira física, evitando que os sólidos sejam carregados para fora do sistema de tratamento.

### 2.3 Desinfecção por Luz Ultravioleta

Segundo o INDUSTRIAL HYGIENE ENGINEERING (1988), radiação é a emissão de partículas ou energia em forma de ondas. Consistem na interação, de campos elétrico e magnético que se propagam no vácuo com uma velocidade de 299.792 km por segundo. São geradas por meio de excitação termal, processos nucleares (fusão ou fissão) ou por bombardeamento através de outra radiação. A radiação eletromagnética não necessita de um meio para se propagar e varia em comprimento e frequência. (OLIVEIRA, 2003).

A radiação ultravioleta, sendo um agente físico, não altera as propriedades da água e atua atingindo os ácidos nucléicos dos microrganismos, gerando reações fotoquímicas que são responsáveis pela desativação de vírus e bactérias. A radiação UV é uma radiação eletromagnética que possui um comprimento de onda de 100 a 400 nm. Sua frequência é maior que a luz visível. É chamada de ultravioleta, pois sua frequência atinge ondas superiores àquelas correspondentes a cor violeta ao olho humano (NATURALTEC).

A classificação da radiação UV é dividida em 3 categorias:

- UVC (100-290 nm)
- UVB (290-320 nm)
- UVA (320-400 nm)

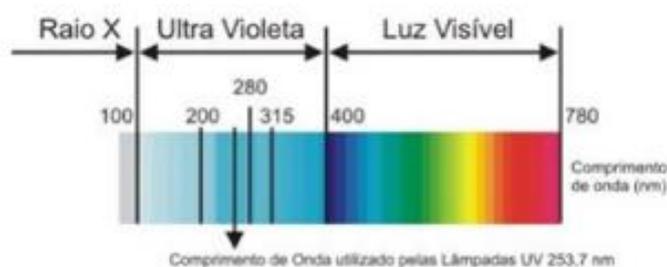


Figura 4: Espectro Eletromagnético. Fonte: Barbosa, 2016.

A radiação ultravioleta é usada para desinfecção de água, de efluentes tratados, torre de resfriamento, aquicultura, aquários e lagos, água mineral engarrafada, piscinas, desinfecção de caldo e açúcar líquido, desinfecção de ar, superfícies e ar-condicionado. Nos Estados Unidos, Canadá e na Europa essa técnica tem-se propagado de forma mais rápida do que Brasil, onde apresenta-se em poucas unidades. Os estados do Paraná, Espírito Santo e Bahia possuem Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) que fazem uso da radiação UV para desinfecção do esgoto a fim de melhorar as condições para o descarte (FURTADO, 2011).

### 2.3.1 Dose da radiação UV

A eficiência da radiação UV absorvida pelos microrganismos está relacionada à dose de energia UV disposta, sendo a dose o produto entre a intensidade UV e o tempo de exposição à luz. Geralmente, a dose UV é expressa em  $\text{mJ}/\text{cm}^2$ ,  $\text{J}/\text{m}^2$  ou  $\mu\text{W} / \text{s}$  exposição é determinado pelo tipo do reator e a vazão da água que passa por ele. Enquanto a intensidade é relacionada aos parâmetros do equipamento, como o tipo da lâmpada e a qualidade da água (TROJAN, 2010).

- A efetividade dos sistemas de desinfecção com radiação UV depende de fatores como:
- Intensidade de radiação;
- Tempo de exposição dos microrganismos;
- Configuração do reator, além das características do líquido a ser desinfetado (USEPA, 1999 apud SOUZA et al, 2012).

Sendo:

D: Dose de radiação ultravioleta ( $\text{mW}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ );

I: intensidade de radiação ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ );

t: tempo de exposição (s).

Os parâmetros podem variar e mesmo assim determinar a mesma dose, ou seja, pode-se adotar um método de inativação em curto intervalo de tempo e alta intensidade ou um tempo longo com baixa intensidade. Ambas as maneiras podem indicar a mesma razão de sobreviventes. A fração que representa o número de sobreviventes é descrita por: (DANIEL, 2001).

$$N/N_0 = F(D) \quad N/N_0 = F(D)$$

A curva de resposta à dose é um gráfico log, sendo inativação do organismo versus a taxa de dose UV aplicada. As unidades de referência indicam que 1-log de inativação corresponde a uma redução de 90%; 2-log a uma redução de 99%; 3-log a uma redução de 99,9%, e assim por diante (TROJAN, 2010).

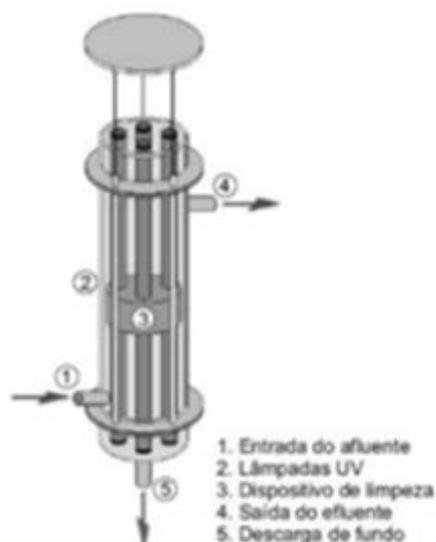
Patógenos	Média Dose UV (mJ/cm <sup>2</sup> ) requerida para inativação			
	1-log	2-log	3-log	4-log
Cryptosporidium parvum oocisto	3.0	4.9	6.4	10
Giardia lamblia cisto	NA	< 5	< 10	< 10
Giardia muris cisto	1.2	4.7	NA	NA
Vibrio cholerae	0.8	1.4	2.2	2.9
Escherichia coli O157: H7	1.5	2.8	4.1	5.6
Salmonella typhi	1.8 - 2.7	4.1 - 4.8	5.5 - 6.4	7.1 - 8.2
Salmonella enteritidis	5	7	9	10
Legionella pneumophila	3.1	5	6.9	9.4
Hepatitis A virus	4.1 - 5.5	8.2 - 1.4	12 - 22	16 - 30
Poliovirus Tipo 1	4 - 6	8.7 - 14	14 - 23	21 - 30
Rotavirus SA11	7.1 - 9.1	15 - 19	23 - 26	31 - 36

**Tabela 3: Dose requerida para inativação de patógenos.**

Fonte: Barbosa, 2016.

### 2.3.2 Reator UV

Os sistemas de desinfecção UV podem operar em canais abertos ou condutos fechados. A Figura 5 representa um conduto forçado no qual as lâmpadas UV são inseridas (METCALF; EDDY, 2004; WOLFF; BARROSO, 2009).



**Figura 5: Reator UV - lâmpadas colocadas no sentido vertical.**

Fonte: Barbosa, 2016.

As vantagens e desvantagens do uso da radiação UV na desinfecção da água podem ser observadas na tabela a seguir.

Vantagens	Desvantagens
1. Eficaz para muitos vírus, bactérias e protozoários como <i>Cryptosporidium</i> e <i>Giardia</i>	1. A presença de matéria dissolvida ou em suspensão reduz a intensidade da radiação.
2. Não produz residual tóxico	2. Para o caso de redes de abastecimento, não produz nenhum efeito residual sendo necessária a aplicação de um.
3. Não altera a qualidade da água como pH, gosto, odor, cor, corrosividade, turvação	3. Design hidráulico do sistema é crítico.
4. Requer pouco espaço	4. A única forma de monitoramento das doses é através de medidas secundárias como leitura de sensores, transmitância, taxas de fluxos de água etc.
5. Sistema simples e de baixo custo de operação e manutenção.	5. Fornecimento de energia elétrica deve ser ininterrupto.
6. Rápido. São alcançadas doses efetivas de desinfecção em poucos segundos.	
7. Mais seguro quando comparado ao uso de desinfetantes químicos.	

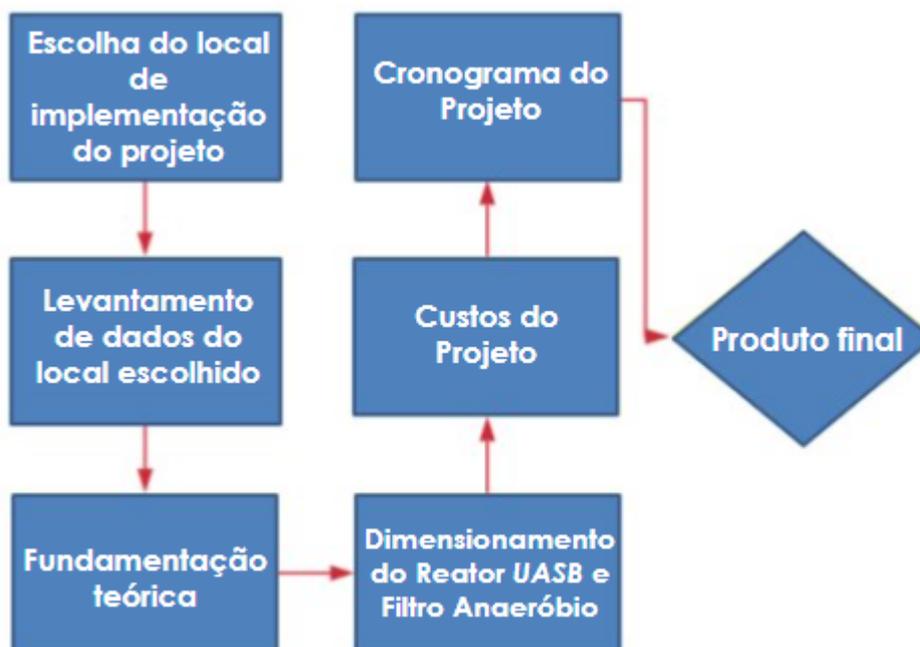
**Tabela 4: Principais vantagens e desvantagens no uso da radiação UV**

Fonte: Barbosa, 2016.

### 3 METODOLOGIA

Inicialmente, para o desenvolvimento do projeto, foi feita a escolha do local e coleta de dados secundários, para implementação da ETE. Foram utilizadas referências bibliográficas de autores especializados na área de tratamento de efluentes, pesquisas em artigos científicos, livros e normas. Para a elaboração do projeto e dimensionamento a ABNT NBR 12.209/11 foi usada como base. Além disso, para auxiliar na elaboração do projeto foram utilizados alguns softwares como AutoCAD, Excel, PowerPoint, Word, Google Earth e SketchUp.

Na elaboração dos cálculos para dimensionamento foram feitas consultas por meio de bibliografias tais como Von Sperling (1996) e Chernicharo (2008). O fluxograma a seguir demonstra as etapas do projeto.



Fluxograma 3: Metodologia do projeto.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Dimensionamento

Considerando-se um fluxo diário de 67.000 pessoas com uma vazão diária afluyente média per capita de 15 L/hab e um coeficiente de retorno de 0,8, foi obtida uma vazão média afluyente ao reator de 804 m<sup>3</sup>/dia.

#### 4.1.1 Reator UASB

As tabelas a seguir trazem as principais informações do dimensionamento do reator UASB.

Volume do reator	
TDH (h)	8
Volume (m <sup>3</sup> )	268
Área do reator (retangulares)	
Altura do reator (m)	5
Área (m <sup>2</sup> )	53,60
	6,00 9,00

Tabela 5: Dimensões do reator UASB.

Separador trifásico	2
Altura total (m)	2,70
Largura do decantador (m)	4,24
Área total dos decantadores (m <sup>2</sup> )	50,88
Volume dos decantadores (m <sup>3</sup> )	137,38

Tabela 6: Dimensões do decantador.

Produção volumétrica (m <sup>3</sup> /dia)	Q <sub>CH4</sub>	103,00
	Q <sub>BIOGÁS</sub>	137,33

Área de influência (m <sup>2</sup> )	2
Nº de tubos de distribuição	27

**Tabela 7: Produção estimada de biogás. afluente.**

	Eficiência de remoção (%)	Concentração (kg/m <sup>3</sup> )
DBO	70	0,10
DQO	65	0,24

**Tabela 8: Distribuição do esgoto**

Nº de coletores de gases	5
Comprimento de cada coletor (m)	3,88
Lagura de cada coletor (m)	0,25
Área total dos coletores de gases (m <sup>2</sup> )	4,85
Taxa de liberação de biogás (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	1,18

**Tabela 9: Concentração de DBO e DQO no efluente final. gases.****Tabela 10: Coletores de**

#### 4.1.2 Filtro Anaeróbio

A tabela a seguir traz as principais informações sobre o dimensionamento do filtro anaeróbio.

<b>Dimensões do filtro</b>	
Área (m <sup>2</sup> )	100,5
Altura (m)	2
Volume (m <sup>3</sup> )	201
TDH (h)	8
<b>Meio suporte</b>	
Volume (m <sup>3</sup> )	90,45
<b>Estimativa de eficiência</b>	
Eficiência (%)	69
<b>Concentração de DBO do efluente final</b>	
Concentração (mg/L)	30,76

**Tabela 11: Dimensões do filtro anaeróbio.**

#### 4.1.3 Desenho Técnico do Sistema

Com os valores obtidos no dimensionamento do sistema do projeto, foi elaborado os desenhos técnicos do sistema, com suas medidas em metros, apresentados nas figuras a seguir.

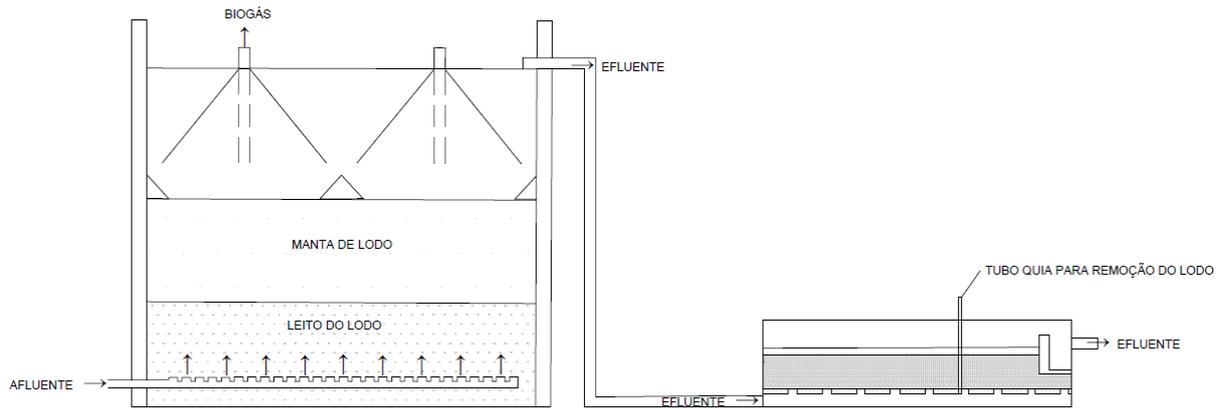


Figura 6: Sistema completo, com o reator UASB e filtro anaeróbio.

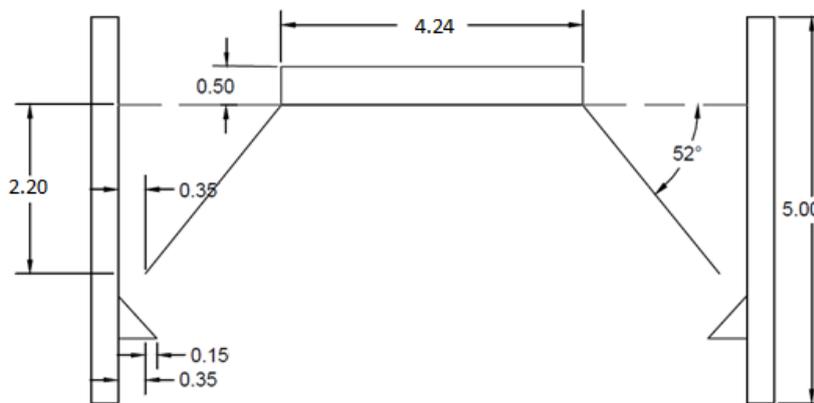


Figura 7: Corte longitudinal do separador trifásicos.

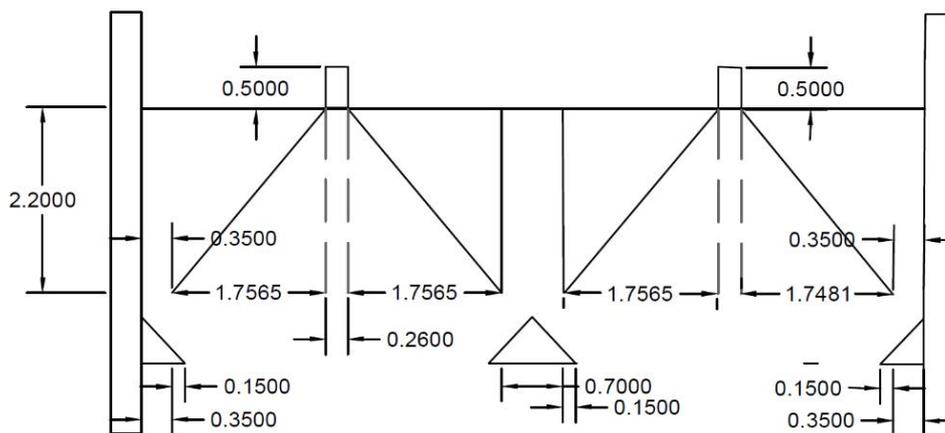


Figura 8: Corte transversal dos separadores trifásicos.

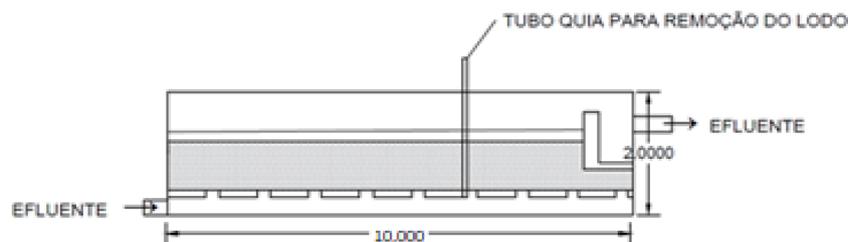


Figura 9: Filtro anaeróbio.

#### 4.1.4 Custo do projeto

Os custos de construção de reatores *UASB* + filtro anaeróbio tem sido bastante variado, com valores médios usuais se situando na faixa de R\$ 50/hab (Chernicharo, 2007).

Com relação aos custos de operação e manutenção do sistema, os valores médios se situam na faixa R\$ 3,50/hab.ano (Chernicharo, 2007).

Portanto, com base nos valores fornecidos pelo autor Chernicharo (2007), tem-se os valores de construção e operação e manutenção do sistema:

$$\text{Construção} = \text{R\$ } 50 \times 67.000 \text{ hab} = \text{R\$ } 3.350.000$$

$$\text{Operação}_{UASB} = \text{R\$ } 3,50 \times 67.000 \text{ hab} = \text{R\$ } 234.500/\text{ano ou R\$ } 19.541/\text{mês}$$

#### Retorno financeiro

Levando em consideração o balanço hídrico do sistema, com um potencial de reúso de 15.440 m<sup>3</sup>/mês e a tarifa de R\$ 19,32/m<sup>3</sup> cobrada para a categoria comercial no município de São Paulo – SP, foi estimada uma economia mensal de:

$$\text{Retorno} = 15.440 \frac{\text{m}^3}{\text{mês}} \times \text{R\$ } \frac{19,32}{\text{m}^3} = \text{R\$ } 298.300/\text{mês}$$

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho foi baseado em pesquisas bibliográficas para avaliar alternativas de tratamento de esgoto possíveis, seus pontos positivos e negativos. O grupo optou pela tecnologia de tratamento *UASB*. Além do Reator, o sistema terá um filtro anaeróbio e uma desinfecção ultravioleta a fim de melhorar as condições para o reúso, que será aplicada nas plantas e lavagens do estacionamento. Os dados obtidos nesse projeto foram calculados através da literatura do Von Sperling (2008) e Chernicharo (2007).

A fim de obter uma eficiência no tratamento de esgoto para shopping Eldorado, o tratamento *UASB* possibilita uma grande redução de água para fins não potáveis para o local.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAÚJO, ANA Paula Caixeta. **Produção de Biogás a Partir de Resíduos Orgânicos Utilizando Biodigestor Anaeróbico**. UBERLÂNDIA, MG, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20292/3/Produ%C3%A7%C3%A3oBiog%C3%A1sRes%C3%ADduos.pdf>>. Acesso em: 25/09/2020.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma Brasileira 12.209 – Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro, 2011.
3. BARBOSA, Alene de Oliveira, **Uso da radiação ultravioleta como técnica avançada de tratamento de água./ Alene de Oliveira Barbosa./** - João Pessoa, 2016. 53.il. disponível em: <[http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/copy\\_of\\_2016.1/uso-da-radiacao-ultravioleta-como-tecnica-avancada-de-tratamento-de-agua.pdf](http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/copy_of_2016.1/uso-da-radiacao-ultravioleta-como-tecnica-avancada-de-tratamento-de-agua.pdf)>. Acesso em: 26 Out 2020.
4. CRUZ, Diego Bongiorno. **Estudo Hidrodinamico Computacional de Reator UASB em Escala de Bancada com Validação Experimental**. Disponível em :<[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1615/1/CM\\_COEAM\\_2012\\_2\\_08.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1615/1/CM_COEAM_2012_2_08.pdf)>. Acesso em: 05 de setembro de 2020.
5. FAGUNDES, Thalita Salgado, **Uso de Polímero Natural a Base de Amido como Auxiliar de Floculação no Pós-Tratamento de Efluente UASB com Flotação por Ar Dissolvido**. São Carlos, SP, 2010. Acesso em: 26/09/2020.
6. GOIS, E. H. B. **Estudo de caso: minimização e reuso de água em shopping center da região sul do Brasil**. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Paraná, 2015.
7. JUNIRO, D. F. L. **Utilização do ciclo PDCA na redução do consumo de água em um condomínio de shopping center**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual de Maringá. Paraná, 2016.
8. LEITE, A. F. R.; LIGEIRO, L. P. M. **Características, tratamento e potencial utilização de esgoto produzido em shopping center: estudo de caso do Catarina Fashion Outlet**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2017.
9. MENEZES, N.; RAMOS, G. **A Importância do tratamento de efluentes orgânicos e industriais como mecanismo de reaproveitamento de água em indústrias: Análise do programa das baterias Moura em Belo Jardim**. Artigo Científico.
10. NORMA TÉCNICA SABESP 181. **Dimensionamento do ramal predial de água, cavalete e hidrômetro – Primeira ligação**. São Paulo, 2017.
11. NUNES, R. T. S. **Conservação da Água em Edifícios Comerciais: potencial de uso racional e reuso em shopping center**. Dissertação. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

12. MANUAL DE OPERAÇÃO. **Município de Gavião Peixoto - SP.** Disponível em: <[http://gaviaopeixoto.sp.gov.br.177-126-176-85.weblinesistemas.com/financeiro/arquivos/financeiro/1706/157\\_99137.pdf](http://gaviaopeixoto.sp.gov.br.177-126-176-85.weblinesistemas.com/financeiro/arquivos/financeiro/1706/157_99137.pdf)> . Acesso em: 05 de setembro de 2020.
13. MEYSTRE, JOSUÉ DE ALMEIDA. **Partida de um Reator UASB, em Escala piloto, para Tratamento de Efluente Doméstico: Estudo de Caso para a Região da Serra da Mantiqueira.** Disponível em: <<https://saturno.unifei.edu.br/bim/0031719.pdf>>. Acesso em: 05 de setembro de 2020.
14. MACHADO, ROSÂNGELA MOREIRA GURGEL. **Estudo da associação em série de reator UASB e filtros anaeróbicos para o tratamento de esgotos sanitários.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.
15. HAMERSKI, FERNANDO, 2012. **O esgoto entra pelo fundo do reator seguindo uma trajetória ascendente encontra uma massa de sólidos densa, com partículas granuladas ou floculenta de elevada capacidade de sedimentação, as quais formam um leito de lodo.** Disponível em:<<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7960/HAMERSKI,%20FERNANDO.pdf>> . Acesso em: 06 de setembro de 2020.
16. PEROVANO, TIAGO GOLLNER, FORMIGONI, LUÍS PHILIPPE ALVES, 2011. **Geração De Energia A Partir De Subprodutos Do Tratamento De Esgotos Sanitários.** Disponível em:<[http://ambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/field/anexo/geracao\\_d\\_e\\_energia\\_a\\_partir\\_de\\_subprodutos\\_do\\_tratamento\\_de\\_esgotos\\_sanitarios.pdf](http://ambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/field/anexo/geracao_d_e_energia_a_partir_de_subprodutos_do_tratamento_de_esgotos_sanitarios.pdf)>. Acesso em: 06 de setembro de 2020.
17. SHOPPING ELDORADO. **O shopping.** Disponível em:<<https://www.shoppingeldorado.com.br/shopping-eldorado>>. Acesso em: 05 de setembro de 2020.
18. VIANA; Dandara, 2019. **Reator UASB: Entenda se Funcionamento.** Disponível em:<<https://www.guiadaengenharia.com/reatores-uasb/?src=descyt>>. Acesso em: 13 de setembro de 2020.
19. KUNZ, Dr. Airton, 2017. **Processos de Biodigestão.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/1355242/0/Curso-Dia0310-1.pdf>>. Acesso em: 28 de setembro de 2020.
20. SOUZA, Marcos Eduardo,1948. Disponível em: <[cetesb.sp.gov.br/biogas/wpcontent/uploads/sites/3/2014/11/revista\\_dae\\_vol44\\_n137\\_1984.pdf](cetesb.sp.gov.br/biogas/wpcontent/uploads/sites/3/2014/11/revista_dae_vol44_n137_1984.pdf)>. Acesso em: 28 de setembro de 2020.
21. KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato.** Disponível em:<<https://www.embrapa.br/buscadepublicacoes//publicacao/1108617/fundamentos-da-digestao-anaerobia-purificacao-do-biogas-uso-e-tratamento-do-digestato>> . Acesso em: 28 de setembro de 2020.
22. METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos.** Tradução de Ivanildo Hespanhol, José Carlos Mierzwa. 5. ed, Nova Iorque: McGraw-Hill; Porto Alegre: AMGH. 2016.

23. ARAUJO, T, L, Silva. **Desempenho de Reatores Anaeróbios Híbrido (Leito fixo e Manta de Lodo) Tratando o Esgoto Sanitário em Escala Piloto.** Disponível em: <[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-02102014-095241/publico/Araujo\\_TLS.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-02102014-095241/publico/Araujo_TLS.pdf)>. Acesso em: 28 de setembro de 2020.
24. MACHADO, R, M, Gurgel,1997. **Estudo Da Associação Em Série De Reator Uasb E Filtros Anaeróbios Para O Tratamento De Esgotos Sanitário.** Disponível em: <[https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS986HFG/1/disserta\\_\\_o\\_rosangela\\_m\\_g\\_machado.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS986HFG/1/disserta__o_rosangela_m_g_machado.pdf)>. Acesso em: 28 de setembro de 2020.
25. SILVA, Wellington Regis. **Estudo Cinético do Processo de Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Vegetais.** Disponível em: <[https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/7187?locale=pt\\_BR](https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/7187?locale=pt_BR)>. Acesso em: 28/08/2020.
26. SABESP. **Tabelas e Tarifas.** Disponível em: <[http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/tabelas\\_tarif%C3%A1rias/Comunicado%202-2020.pdf](http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/tabelas_tarif%C3%A1rias/Comunicado%202-2020.pdf)>. Acesso em: 19/10/2020.
27. OLIVEIRA, Carlos Machado, 2003. **DESINFECÇÃO DE EFLUENTES SANITÁRIOS TRATADOS ATRAVÉS DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA.** Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/84539/197380.pdf;jsessionid=C577112F0439DA00E4B73726EE779031?sequence=1>> . Acesso: 25 de outubro de 2020.
28. SOUZA et all, 2012. **Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de esgoto sanitário.** Disponível em: <<file:///D:/Users/DELL/Downloads/10584-54962-1-PB.pdf>>. Acesso: 25 de outubro de 2020.



**TRATAMENTO DE EFLUENTE COM MBR EM SHOPPING CENTER**

**Daniele Gomes, Jonatas Reis, Laiz Oliveira, Vinícius Rodrigues, Valquiria Felix,  
Alexandre Saron**

Engenharia Ambiental e Sanitária, Centro Universitário Senac  
<http://www.divulgacaocientifica.sp.senac.br/sua/>

**RESUMO**

O lançamento indiscriminado dos esgotos nos corpos d'água sem o devido tratamento pode ocasionar diversos problemas ao meio ambiente (Jordão & Pessoa, 2014). E, considerando o pressuposto que o reuso de águas residuárias tem sido praticado em diversos lugares, com objetivo intrínseco de obter economia na conta de água potável, e da necessidade em atender os as condições e os padrões de qualidade legais sobre o lançamento do efluente em corpos hídricos, o grupo

propôs o tratamento de efluentes utilizando a tecnologia MBR – Membrane Bioreactor ou Reator Biológico de Membranas para um shopping center da cidade de São Paulo. Com isto, realizou-se o dimensionamento do sistema seguindo com as etapas de pré-tratamento, lodo ativado, MBR e desinfecção e por fim o reuso deste efluente tratado em sistemas de resfriamento de ar-condicionado no shopping.

**PALAVRAS-CHAVE:** água, MBR, shopping center.

**ABSTRACT**

The indiscriminate release of sewage into bodies of water without proper treatment can cause several problems to the environment (Jordão & Pessoa, 2014). And, considering the assumption that wastewater reuse has been practiced in several places, with the intrinsic intention of obtaining savings in the potable water bill, and the need to meet the legal conditions and quality standards for the discharge of effluent in bodies of

water, this paper proposes the treatment of effluents using MBR - Membrane Bioreactor or Biological Membrane Reactor technology for a mall in São Paulo City. Thereby, the system was sized following the stages of pre-treatment, activated sludge, MBR and disinfection and finally the reuse of the treated effluent in air conditioning cooling systems in the mall.

**KEYWORDS:** water, MBR, mall.

## 1 INTRODUÇÃO

A região Sudeste é onde concentra a maior parte de shopping centers, cerca de 52% de acordo com a Associação Brasileira de Shopping Centers (ABREASCE). E através de pesquisas, existem diferenças entre esgoto sanitário típico com um esgoto produzido em um shopping e estes lugares por possuírem alto movimento de pessoas, e sua infraestrutura incluir abastecimento de água e drenagem pluvial, e que portanto gera efluentes deve ser realizado o devido tratamento antes de seu descarte, ou aproveitar o efluente como água de reuso.

As características do esgoto comum possuem algumas particularidades, e pode ocorrer variações de acordo com os hábitos de consumo da população, o clima, e diversos outros aspectos que influenciam diretamente na composição do esgoto. (LEITE, et al 2017)

Segundo Jordão (2014) o lançamento indistinto dos esgotos pode causar vários inconvenientes, como o mal odor, depleção do oxigênio contidos nos rios, pode haver óleo e matérias flutuantes que interfere com a decomposição biológica, entre outros. Dentro dessas descrições, observa-se a grande importância para o tratamento dos esgotos gerados, sejam eles domésticos ou industriais e as características dos esgotos irão depender de sua fonte de geração.

Este trabalho tem como objetivo propor a tecnologia do sistema MBR – Reator de Membrana e o dimensionamento para tratar este efluente, visando o seu reuso no sistema de ar condicionado do shopping.

shopping Center localizado na região oeste da cidade de São Paulo, e neste trabalho abordaremos o shopping como "Shopping AB" (Figura 1).

**Figura 1 - Shopping Center "AB"**



**Fonte: Autoria própria, 2020**

Hoje há tecnologias já bastante difundidas no mercado para tratamento de esgotos, o mais utilizado no Brasil e em várias partes do mundo é o Lodos Ativados que compreende o tratamento com microrganismos. Segundo o SAAE (2006), o tratamento biológico é a forma mais eficiente de remoção da matéria orgânica dos esgotos. E neste projeto utilizaremos o lodo ativado com a tecnologia MBR (Reator Biológico com Membrana).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Esgoto doméstico

O esgoto doméstico é aquele que provem principalmente de residências, estabelecimentos comerciais, instituições ou quaisquer edificações que dispõe de instalações de banheiros, lavanderias e cozinhas. É composto de água de banho, excretas, papel higiênico, resto de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem. (FUNASA 2020) Na tabela 1 é representado as características biológicas contidas em um esgoto doméstico.

**Tabela 1 - Características biológicas no esgoto doméstico**

<b>Microrganismo</b>	<b>CPC (org/hab.d)</b>	<b>Concentração (org/100 mL)</b>
<b>Bactérias totais</b>	$10^{12} - 10^{13}$	$10^9 - 10^{10}$
<b>Coliformes totais</b>	$10^9 - 10^{12}$	$10^6 - 10^9$
<b>Coliformes fecais</b>	$10^8 - 10^{11}$	$10^5 - 10^8$
<b>Estreptococos fecais</b>	$10^8 - 10^9$	$10^5 - 10^6$
<b>Cistos de protozoários</b>	$< 10^6$	$< 10^3$
<b>Ovos de helmintos</b>	$< 10^6$	$< 10^3$
<b>Vírus</b>	$10^5 - 10^7$	$10^2 - 10^4$

Fonte: Silva, 2020

### 2.2 Tratamento Preliminar

O tratamento preliminar objetiva a remoção de sólidos grosseiros, gorduras e de partículas de areia, uma vez que estes sólidos podem ocasionar diversos problemas no sistema de tratamento. Para esta etapa é utilizado para remoção de sólidos grosseiros em suspensão: crivos, grades, peneiras e desintegradores, e para remoção de óleos, graxas e sólidos flutuantes é comumente utilizado tanques de retenção de gordura (caixa de gordura), tanques de flotação e decantadores com removedores de espuma.

De acordo com Reali et al (2013) apud Morais (2018) a separação por membranas requer um tratamento preliminar para que auxilie no processo de separação com mais eficiência.

### 2.3 Lodos Ativados

O Lodo ativado é o floco produzido num esgoto bruto ou decantado pelo crescimento de bactérias zoóeleas ou outras, na presença de oxigênio dissolvido, e é acumulado em concentração suficiente graças ao retorno de outros flocos previamente formados e Lodos ativados pode ser definido como uma massa ativa de microrganismos capazes de estabilizar os contaminantes presentes no efluentes. O processo se baseia na oxidação da matéria orgânica por bactérias aeróbias em um tanque com aeração (SILVA, 2020).

#### Tanque de aeração

De acordo com o CESA/UFRJ (2020), é no tanque de aeração que ocorre a decomposição aeróbia do substrato orgânico solúvel e a formação de flocos biológicos para posterior sedimentação. A elevada concentração de biomassa no tanque de aeração é mantida através da recirculação dos sólidos sedimentados e possibilita a maior permanência da biomassa no sistema e garante a elevada eficiência na remoção da matéria orgânica. Parcela dos sólidos sedimentados

e não recirculados é removida do processo, caracterizando a produção excedente de lodo. Os aeradores e os difusores são equipamentos presentes no tanque de aeração e tem como propósito introduzir oxigênio dentro do tanque e possibilitar o processo de decomposição aeróbia do substrato, estes equipamentos contribuirão para a homogeneização do conteúdo e também na minimização de odores decorrentes do processo de degradação da matéria.

De acordo com a empresa Multiagua (2020), os aeradores podem ser divididos em dois tipos, sendo eles os aeradores mecânicos de superfície e aeradores submersos.

### Oxigênio puro

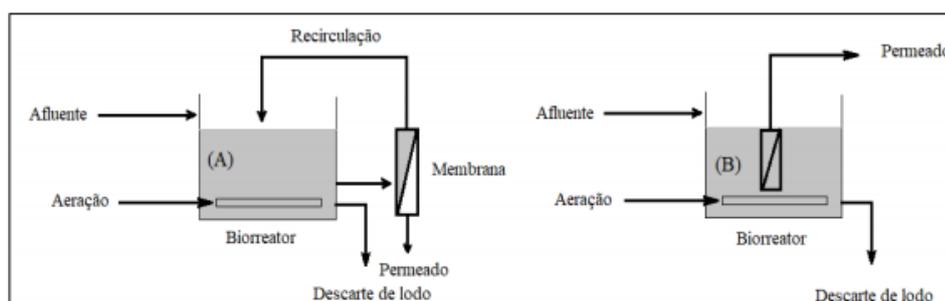
Para a o tanque de aeração existe a necessidade de introdução de ar para que o processo biológico ocorra, e pode ser aplicado com ar atmosférico que contém cerca de 21% de oxigênio, ou pode ser utilizado oxigênio puro. De acordo com a Air Liquide (2020), o oxigênio puro se dissolve melhor em água quando comparado ao ar atmosférico, portanto a sua utilização aumenta a capacidade da estação de tratamento de efluentes em até 50% e o consumo total de energia necessário para transferir oxigênio ao tanque de aeração reduz na mesma proporção. O oxigênio pode ser fornecido através de cilindros que devem ser recarregados de tempos em tempos de acordo com a demanda, ou também ser gerado no local através de geradores de oxigênio.

## 2.4 Reator Biológico com Membrana (MBR)

O processo biológico com módulos de membrana, também conhecido como processos por biorreatores com membranas (Membrane Biorreactor), ou MBR, pode ser empregado quando se deseja garantir o reuso de um efluente o qual requeira uma excelente qualidade (JORDÃO e PESSÔA, 2014). De acordo com Jordão e Pessôa (2014), o processo decorre durante a passagem de águas residuais através de filmes – membranas com espessura de 0,20 a 0,25  $\mu$ , onde ocorre a separação ou filtração das partículas em suspensão e matéria coloidal no esgoto, garantindo desta forma que apenas os componentes desejáveis fiquem retidos na água. Essa seleção de componentes se dá na presença de um gradiente de potencial entre os dois lados da membrana, usualmente um gradiente de pressão, de concentração, de temperatura, ou de potencial elétrico, levando-se em conta inúmeras condições (JORDÃO e PESSÔA, 2014).

O reator biológico pode ser configurado com membrana externa (a) ou com submersa (b), como apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Membranas externas e membranas submersas



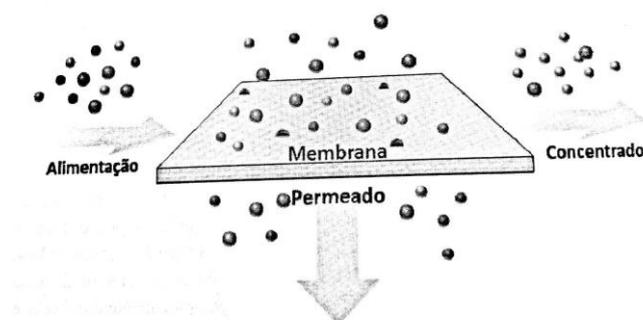
Fonte: Morais, 2018

### Separação por remoção

As membranas realizam uma espécie de separação ou filtração de componentes indesejáveis na água. É através dela que ocorre a remoção de sólidos em suspensão, matéria orgânica, organismos patogênicos, nutrientes, e outras substâncias dissolvidas (JORDÃO e

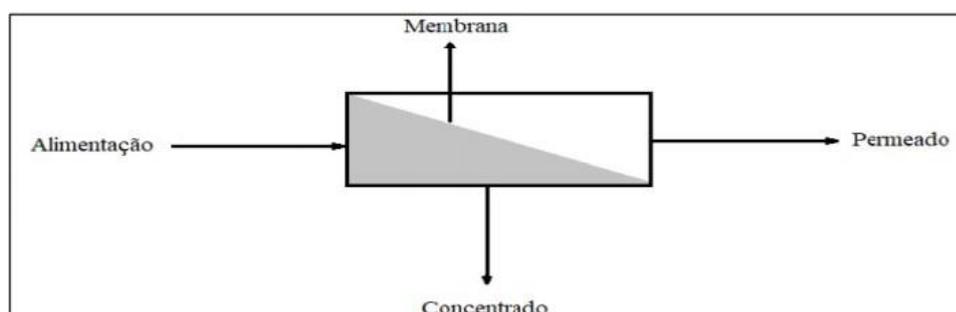
PESSÔA, 2014). Na Figura 3 é representado o processo de separação que a membrana realiza e na figura 4 o esquema do processo de separação da membrana.

Figura 3 - Processo de separação por membranas



Fonte: Jordão e Pessôa, 2014

Figura 4 - Esquema típico do processo de separação por membranas



Fonte: Morais, 2018

### Tecnologia e aplicabilidade de membranas

Os principais módulos de membrana submersos existentes para o sistema de MBR são os de fibra oca (*Hollow Fiber*) e placa plana (*Flate Sheet Membrane*) e também tubulares, nas figuras 6, 7 e 8 estão a representação de cada uma delas (HESPANHOL, SUBTIL e MIERZWA, 2013, apud Morais)

Figura 7 - Modelo de fibra oca



Figura 6 - Modelo placa plana

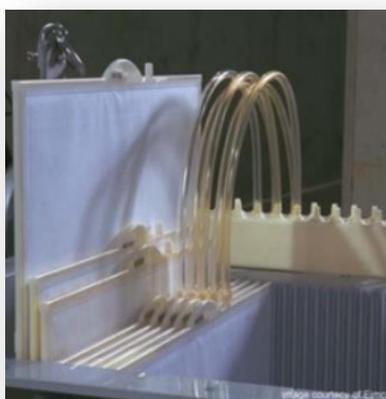
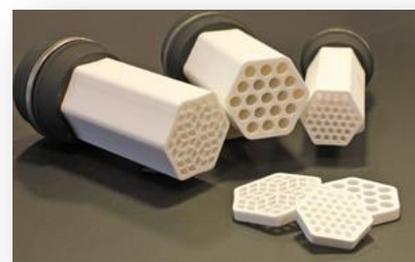


Figura 5 - Modelo tubular



Existem dois tipos diferentes de material utilizados na confecção de membranas, os polímeros e os cerâmicos. E sua confecção é realizada pelos principais materiais: Poliacrilonitrilo,

Policloreto de vinilo, polissulfona, polifluoreto de vinilideno (PVDF), poliamidas aromáticas, e Acetato de celulose. (BAKER (2012), apud Morais, 2018)

Para o processo de separação de membranas temos a microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração e osmose reversa, com características de operação, consumo de energia e constituintes removidos, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Tipos de processos de membranas

Processos Membrana	Pressão de operação kPa	Consumo de energia kWhm <sup>3</sup>	Constituintes removidos
Microfiltração	100	0,4	SST, bactérias, protozoários, ocistos, ovos de helmintos
Ultrafiltração	525	3,0	Os da MF, mais: matéria orgânica biodegradável, poluentes prioritários orgânicos.
Nanofiltração	875	5,3	Os da UF, mais: dureza, metais pesados, nitratos, compostos orgânicos sintéticos, SSD.
Osmose reversa	1575	10,2	Os da NF, mais: vírus; muito usado na dessalinização e desmineralização.
Osmose reversa	2800	18,2	Como acima citado

Fonte: Jordão e Pessôa, 2014

### Limitações do MBR: Fouling

À medida que ocorre o acúmulo de contaminantes sobre a superfície das membranas (*fouling*), há um aumento na perda de carga através da membrana resultando na redução do fluxo do *permeado* e no aumento na rejeição de certos contaminantes. E quando o fluxo do permeado é reduzido abaixo de um determinado valor, a operação do sistema é interrompida e submetida a uma operação de limpeza física e química (METCALF e EDDY (2016) apud Morais, 2018)

O *fouling* ocorre em qualquer processo que envolve a separação com membranas. Ela diminui a vazão do permeado e o tempo de vida útil da membrana, e diversos fatores podem acarretar este evento, como a morfologia e estrutura de superfície da membrana e a rugosidade também são responsáveis pela deposição de particulados, resultando no entupimento da membrana, e queda do fluxo do permeado.

De acordo com Belli (2015) apud Morais (2018) a limpeza química consiste em uma reação físico-química entre o reagente químico de limpeza e o material incrustante, podendo ser utilizados diferentes produtos químicos, como agentes oxidantes (hipoclorito de sódio), solução ácida (ácido cítrico) e a solução alcalina (hidróxido de sódio) que desempenharão diferentes funções na remoção do fouling. Conforme VIDAL (2006) as soluções de limpeza podem ser ácidas ou básicas e podem ser utilizadas de forma isolada ou mesmo combinadas

**Figura 8 - Membranas com formação de torta na sua superfície**

Fonte: ECOSAN, 2015

## 2.5 Desinfecção

A desinfecção refere-se à destruição seletiva de organismos responsável por causar doenças, sem que seja necessária a eliminação de todos os organismos. É geralmente conseguida pelo uso de agentes químicos e físicos; meios mecânicos e radiação (OLIVEIRA, 2003). Para desinfecção com cloração a desinfecção pode ser utilizado cloro gasoso, hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio e dióxido de cloro, que são os agentes inorgânicos mais facilmente encontrados no mercado. (MACHADO, 2005).

O cloro principalmente na forma de hipoclorito de sódio, vem sendo utilizado também na desinfecção de esgotos sanitários devido ao seu baixo custo, efetividade, praticidade e melhoria nas características do efluente como na redução da cor, turbidez e odor, no entanto, aplicação deste método de desinfecção também tem causado efeitos adversos à biota que reside no curso hídrico receptor (COSTA, 2007). Um equipamento que é utilizado em alguns processos de tratamento é os cloradores de pastilhas de hipoclorito de cálcio, com, 60% de cloro ativo, tem sido testado com grande eficiência na desinfecção. As pastilhas podem permanecer de 10 a 15 horas fornecendo cloro a água em tratamento. A eficiência de desinfecção para coliformes fecais foi de 6 Log e para coliformes totais variou entre 5 e 7 Log (Libânio, 2000).

## 2.6 Reuso

Em processos industriais e empreendimentos comerciais, a água é essencial, mas a água está se tornando cada vez mais escassa, por isso, novas formas de reutilização surgiram ao longo dos anos. O reaproveitamento da água na torre de resfriamento é um dos métodos alternativos.

De acordo com a Transcalor (2020), as máquinas que compõe o sistema de climatização de shopping são chamadas de chillers, estes equipamentos são resfriadores de água e auxiliam na climatização e controle da temperatura e da umidade relativa em ambientes de grandes dimensões. A água gelada produzida por eles é utilizada com o objetivo de arrefecer (resfriar) o ar, produtos ou equipamentos conforme a necessidade. Eles possuem uma grande potência e são capazes de trabalhar com grandes variações de temperatura. Estes equipamentos consomem uma grande quantidade de água para manter a refrigeração.

A água tratada será reutilizada para o sistema de refrigeração de ar-condicionado do shopping center, que consome grande quantidade de água potável.

### 3 METODOLOGIA

Durante a elaboração do projeto utilizou-se referências bibliográficas de artigos de estudos sobre o sistema MBR, lodos ativados, tratamento preliminar, formas de desinfecção e equipamentos de geração de oxigênio puro e outros assuntos integrantes.

Para condicionamento do projeto utilizamos como ferramenta o sistema da Microsoft Project, o que permitiu o planejamento e execução e controle das atividades desenvolvidas pela equipe. No programa detalhamos todos os processos de pesquisa desde a seleção de tecnologias disponíveis para tratamento de efluentes, definição da tecnologia escolhida pela equipe, e todo o detalhamento de pesquisas bibliográficas realizadas para então a realização do dimensionamento do sistema MBR.

Para a desenvolvimento do desenho técnico do projeto utilizou-se o software AutoCAD, e o desenho foi criado na dimensão 2D e para a representação do sistema em 3D foi utilizado o programa SketchUp para projetos 3D e modelagem tridimensional, bem como a criação da animação demonstrando o sistema como um todo.

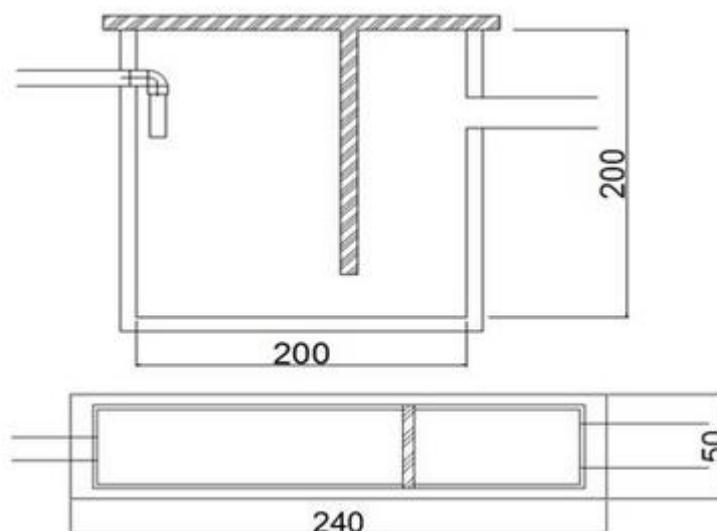
### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os dados primários obtidos com o cliente, que foram utilizados para o dimensionamento do sistema.

- Consumo diário: 387 m<sup>3</sup>/dia;
- Quota per capita: 12,9 L/hab.dia;
- Vazão média: 209 m<sup>3</sup>/dia;
- Carga de DBO: 1620 kg/dia e
- Sólidos em Suspensão (SS): 1800 kg/dia.

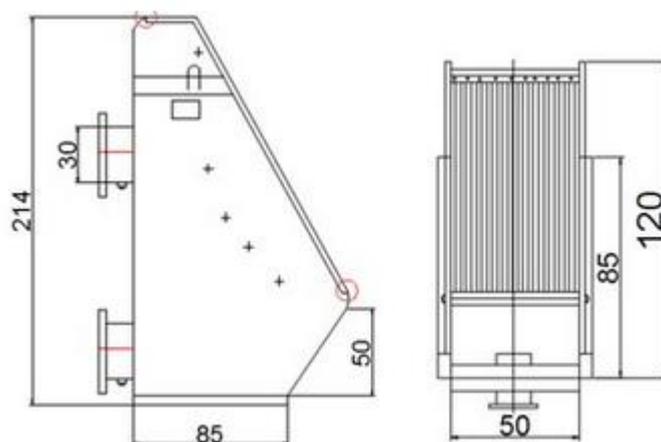
Desta forma, os componentes do sistema apresentam as seguintes dimensões:

Para a caixa de gordura, obteve-se o tempo de retenção hidráulico equivalente a 7 minutos, a vazão máxima igual a 15,7 m<sup>3</sup>/h e o volume de 2 m<sup>3</sup>.



**Figura 9: Dimensões da caixa de gordura (vista lateral e planta baixa, respectivamente).**

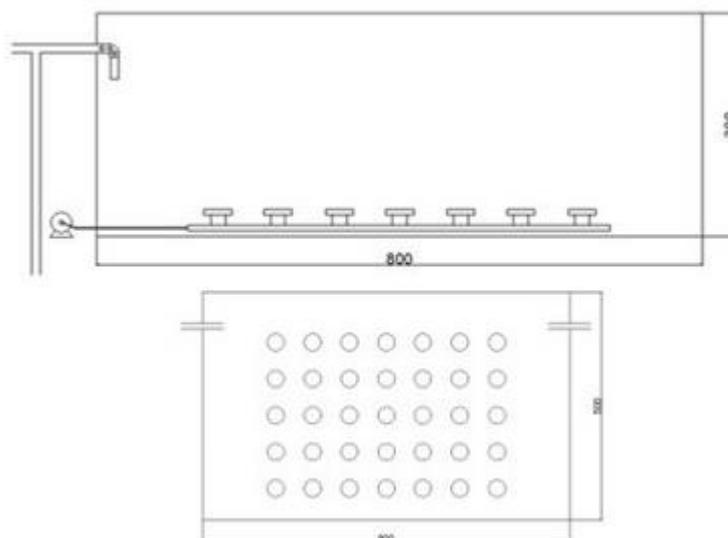
Para a peneira estática, obteve-se a taxa de aplicação equivalente a  $20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ , a área da tela igual a  $0,78 \text{ m}^2$ , e a largura da tela igual a  $0,39 \text{ m}$ .



**Figura 10: Dimensões da peneira estática (vista lateral e planta baixa, respectivamente).**

Para o tanque de aeração, com sistema de aeração com ar difuso e bolhas grossas, obteve-se o volume igual a  $120 \text{ m}^3$ , com tempo de detenção hidráulica de 13 horas.

Com vazão do lodo igual a  $132 \text{ m}^3/\text{mês}$  e idade do lodo de 7 horas, o excesso do lodo equivale a  $1053 \text{ kg SS}/\text{dia}$ .



**Figura 11: Dimensões do tanque de aeração (vista lateral e planta baixa, respectivamente).**

Para o gerador de oxigênio puro, considerou-se a necessidade de oxigênio equivalente a 168,75 kg O<sub>2</sub>/hora, com eficiência de 95%. Para tanto a massa de oxigênio equivale a 177,63 kg O<sub>2</sub>/hora, com vazão de ar de 148 m<sup>3</sup> ar/hora.



**Figura 12: Aerador Atlas Copco.**

Para o tanque do biorreator com membrana, considerou-se o ciclo de tratamento de 4 horas, totalizando 6 ciclos. A área da membrana dimensionada equivale a 0,9 m<sup>2</sup>, com lado: igual 2 m, e comprimento igual a 0,3 m, a altura: 1,5 m. A aeração da membrana equivale a 13 m<sup>3</sup>.

Para os demais tanques (de armazenamento), obteve-se um volume de 400 m<sup>3</sup>.

Na etapa de desinfecção com clorador, utiliza-se pastilhas de cloro. Para este projeto a quantidade de cloro necessária é de 0,5 kg/dia, para garantir uma concentração de 2,5 mg/L.

O sistema completo está representado na Figura 13:

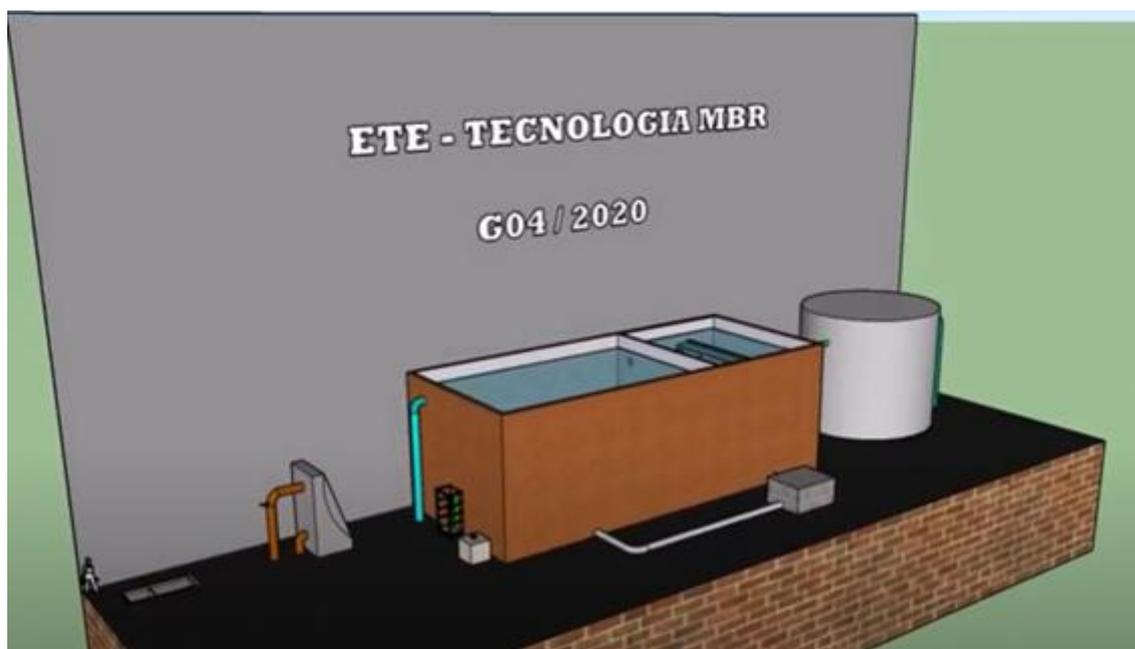


Figura 13: Sistema completo em 3D da ETE com tecnologia MBR

## 5 CONCLUSÃO

Com o Sistema MBR o permeado possui excelente qualidade, podendo apresentar ausência de contaminação fecal e de sólidos suspensos e outros parâmetros, assim atendendo a legislação brasileira. Entre as características que se destacam, tem-se a qualidade do efluente tratado como potencial de reúso para diversos fins sem a necessidade de um pós tratamento, e o fato de ele ser compacto, representando uma boa solução para aplicações como as ETEs de shopping centers.

## REFERÊNCIAS

1. AIR Liquide, Omega. **O-GEN Série - Geradores de oxigênio**. 2020. Disponível em: [https://www.omega-air.pt/produtos/geradores-de-oxigenio-e-nitrogenio/o-gen-serie?gclid=CjwKCAiAnIT9BRAmEiwANaoE1QYsZuV\\_tmSacOdBbJKfMQGnEuQHx36Mqol8otYHGuh9T1vc1onV-BoCswkQAvD\\_BwE](https://www.omega-air.pt/produtos/geradores-de-oxigenio-e-nitrogenio/o-gen-serie?gclid=CjwKCAiAnIT9BRAmEiwANaoE1QYsZuV_tmSacOdBbJKfMQGnEuQHx36Mqol8otYHGuh9T1vc1onV-BoCswkQAvD_BwE). Acesso em: 27 de outubro de 2020.
2. ABRASCE. Associação Brasileira de Shoppings Centers. **Listas de Shoppings**. Disponível em: <https://abrasce.com.br/guia-de-shoppings/#:~:text=LISTA%20DE%20SHOPPING,associados%20em%20todo%20o%20Brasil.>>. Acesso em: Out.2020
3. SAAE. Serviço autônomo de Água e Esgoto. **Sistema de Tratamento de Esgoto**, (2006) Disponível em: [https://www.saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento\\_de\\_Esgoto.pdf](https://www.saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento_de_Esgoto.pdf). Acesso em: Out.2020
4. BENITEZ, M.G.; Garriga, C.S.; Ferré, R. G. (2002). **Bioreactores de Membrana (MBR)**. Departamento de Projectos de Ingeniería. Universitat Politècnica de Catalunya. Gespaser SA.

5. **JORDÃO**, Eduardo Pacheco, 1939.. **Tratamento de Esgotos Domésticos** / Eduardo Pacheco Jordão, Constantino Arruda Pessoa – 7ª edição – Rio de Janeiro, 2014 1050 páginas.
6. **FUNASA**. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento. Orientações técnicas**. Brasília, 2007. Disponível em:< <https://wp.ufpel.edu.br/ccz/files/2016/03/FUNASA-MANUAL-SANEAMENTO.pdf>>. Acesso em: Out.2020
7. MBR Site. **Membrane bioreactors – operation and maintenance**. Disponível em: < <https://www.thembrsite.com/mbr-operation-and-maintenance/> > Acesso em 29 de outubro de 2020.
8. **SILVA**, Prof. Carlos Ernando da. **SISTEMA DE LODOS ATIVADOS**. Tratamento de Resíduos e Impactos Ambientais – UFSM/CT/HDS. Disponível em: <<http://jararaca.ufsm.br/websites/ces/download/A4.pdf>>. Acesso em: Set/2020
9. UFRJ, Centro Experimental de Saneamento Ambiental da. **Lodos Ativados**. 2020. Disponível em: <http://www.saneamento.poli.ufrj.br/index.php/br/infraestrutura/lodos-ativados>. Acesso em: 27 de outubro de 2020.
10. **TRANSCALOR**. **Climatização de shopping**. 2020. Disponível em: <http://www.transcalor.com.br/chiller-torre-resfriamento/climatizacao-shopping>. Acesso em: 27 de outubro de 2020.
11. **PEREIRA**, Anne Relvas. **Reator biológico com membrana (mbr) aplicado ao tratamento de esgotos gerados por unidades residenciais unifamiliares**. 2016. 113 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Ecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília/df, 2016. Disponível em:<[https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/22465/1/2016\\_AnneRelvasPereira.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/22465/1/2016_AnneRelvasPereira.pdf)>. Acesso em: 04 set. 2020.
12. **SCHNEIDER**, R.P. e Tsutiya, M.T. (2001). **Membranas Filtrantes para o Tratamento de Água, Esgoto e Água de Reúso**. ABES-Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, Brasil.
13. **SILVA**, Maurício Kipper da. **Biorreatores com Membranas: uma alternativa para o tratamento de efluentes**. 2009. 180 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/18994/000732821.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 05 set. 2020.