

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS,
METALÚRGICA E DE MATERIAIS**

VANESSA MOURA DE SOUZA

**DESENVOLVIMENTO DE FILTRO BIOLÓGICO ATRAVÉS DA TECNOLOGIA DO
PÓ UTILIZANDO RESÍDUO DE LOUÇA SANITÁRIA**

Porto Alegre

2021

VANESSA MOURA DE SOUZA

**DESENVOLVIMENTO DE FILTRO BIOLÓGICO ATRAVÉS DA TECNOLOGIA DO
PÓ UTILIZANDO RESÍDUO DE LOUÇA SANITÁRIA**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito à obtenção do título de Doutor em Engenharia, modalidade Acadêmica.

Orientadora: Profa. Dra. Rejane Maria Candiota Tubino

Co-orientador: Prof. Dr. Vinicius Martins

Área de Concentração:

Tecnologia Mineral, Ambiental e Metalurgia Extrativa

Porto Alegre

2021

RESUMO

Nesta pesquisa foi avaliada a utilização de louça cerâmica rejeitada através do controle de qualidade de uma indústria, e que é encaminhada para o descarte após passar por um processo de britagem, para o desenvolvimento de filtros de adesão. Esse resíduo é denominado pitcher pela indústria que o cedeu, e o mesmo é composto de argilominerais, quartzo, feldspato, podendo incluir rochas cerâmicas como granito, pegmatito e filito, demonstrando ser uma potencial matéria-prima para fabricação de filtros de adesão devido aos minerais que ainda podem ser reaproveitados e sua não toxicidade. O pitcher passou por um processo de seleção granulométrica, sendo que cerca de 70% desse resíduo ficou retido nas peneiras de 37 e 125 μm , granulometria essas que foram utilizadas na avaliação. As amostras foram compactadas em prensa manual com diferentes pressões, entre 300 MPa e 1000 MPa, após, foram sinterizadas em temperaturas entre 1050 °C e 1200 °C em forno resistivo. Para caracterização do material, determinou-se a densidade aparente, à verde e a curva de compressibilidade para verificar a melhor pressão de compactação. A microestrutura dos corpos de prova e a homogeneidade do pitcher foram avaliadas utilizando-se Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Ambas as granulometrias apresentaram a curva típica de compressibilidade, na qual a densidade aumenta com o aumento da pressão de compactação, enquanto a inclinação da curva diminui com o aumento da pressão. O aumento da densidade com o aumento da pressão de compactação indica uma boa densificação para as temperaturas, independente da granulometria da amostra. A porosidade do sinterizado diminuiu proporcionalmente ao tamanho das partículas nas amostras sinterizadas. As análises estudadas demonstraram que a granulometria de 37 μm sinterizados à 1200 °C resultaram em superfícies mais porosas, por isso, foram aplicadas no ensaio prático, como filtro biológico em estação de tratamento de efluente. Neste teste, os filtros ficaram nove semanas no efluente, com coletas de DBO e DQO para verificação da eficiência. Obteve-se aumento médio na qualidade diária da água cerca de 10% em relação ao tratamento convencional, na coleta do DQO, além de melhorar o oxigênio dissolvido (OD) e manter a estabilidade do processo.

Palavras-chave: Sinterização, Resíduo, Tecnologia do pó, Cerâmicos, Filtro biológico.

ABSTRACT

This research evaluated the use of ceramic parts rejected through the quality assurance process of a sanitary ware industry, and that are sent for disposal after a crushing process, to manufacture adhesion filters. This waste is called pitcher by the company that donated it for this research, and it is composed of clayey minerals, quartz, and feldspar, which may include ceramic rocks such as granite, pegmatite and phyllite; proving to be a potential raw material for adhesion filters manufacturing due to its minerals that can still be reused and its non-toxicity. The pitcher passed through a granulometry-based selection process, with around 70% of the residue being retained in the sieves of 37 and 125 μm , which were selected for the evaluation. The samples were compacted in a manual press with different pressures, ranging from 300 MPa to 1000 MPa, being then sintered at a temperature between 1050 $^{\circ}\text{C}$ and 1200 $^{\circ}\text{C}$ in a resistive furnace. To characterize the material, the apparent and green densities, as well as the compressibility curve, were determined to identify the best compression pressure. The microstructure of the test samples and the pitcher homogeneity were evaluated using Scanning Electron Microscopy (SEM). Both particle sizes presented the typical compressibility curve, in which the density increases with increasing compaction pressure, while the curve slope decreases with increasing pressure. The increase of density with the increasing compaction pressure indicates a good densification for the temperatures, regardless of the sample granulometry. The sintered porosity decreased proportionally to the particle size in the sintered samples. The analysis showed that the particle size of 37 μm sintered at 1200 $^{\circ}\text{C}$ had more porous surfaces, therefore being applied in the practical test as a biological filter in an effluent treatment plant. During this test, the filters spent nine weeks in the effluent with BOD and COD collections to verify their efficiency. There was an average increase in daily water quality of about 10% compared to the conventional treatment, in the COD collection, in addition to improving dissolved oxygen (DO) and maintaining the stability of the process.

Keywords: sintering, waste, powder technology, ceramics, biological filter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas de obtenção do pitcher a) Peça cerâmica com defeito; b) Britagem da louça; c) Pitcher	15
Figura 2 - Fluxograma da rota da tecnologia do pó	17
Figura 3 - Operação de prensagem	20
Figura 4 - Sinterização de múltiplas partículas primárias	21
Figura 5 - Estágios da sinterização	22
Figura 6 - Classificação dos processos de separação, tamanho do filtrado e pressão aplicada	23
Figura 7 - Fluxograma de Estação Básica de Tratamento de Esgotos	25
Figura 8 - Seção típica de um filtro biológico percolador e seus componentes	26
Figura 9 - Corte tridimensional do filtro biológico percolador	27
Figura 10 - Mecanismos e processos envolvidos com o transporte e degradação do substrato em biofilmes	28
Figura 11 - Principais características dos materiais de enchimento utilizados nos reatores	29
Figura 12 - Caracterização e seleção de amostras	32
Figura 13 - Análise e aplicação do filtro	33
Figura 14 – Produção do pitcher a) Britador; b) Pó cerâmico obtido após o britador	34
Figura 15 - Pitcher em diferentes granulometrias: a) Resíduo de louça cerâmica após o processo de britagem; b) Pó obtido após o peneiramento em 125 µm; c) Pó obtido após o peneiramento em 37 µm	35
Figura 16 - Amostras à verde	37
Figura 17 - Amostras sinterizadas a 1200 °C	38
Figura 18 - Dispositivo para ensaio de permeabilidade	41
Figura 19 - Protótipo de Filtro Biológico Percolador	43
Figura 20 - Peças de louça cerâmica sanitária com defeitos.	46
Figura 21 - Amostra de pitcher retirada da peneira de 125 µm, analisada via MEV	47
Figura 22 - Amostra de pitcher retirada da peneira de 37 µm, analisada via MEV	47
Figura 23 - Amostra de pitcher (peneira 125 µm): a) aumento de 354 vezes b) aumento de 1330 vezes	48
Figura 24 - Amostra de pitcher (peneira 37 µm): a) aumento de 1330 vezes b) aumento de 2180 vezes	49

Figura 25 - Distribuição Granulométrica do pitcher 125 μm	51
Figura 26 - Distribuição Granulométrica do pitcher 37 μm	52
Figura 27 - Resultado do difratograma	53
Figura 28 - Amostras sinterizadas a 1050 $^{\circ}\text{C}$ – a) 37 μm e b) 125 μm	55
Figura 29 - Amostras sinterizadas a 1100 $^{\circ}\text{C}$ – a) 37 μm e b) 125 μm	55
Figura 30 - Amostras sinterizadas a 1150 $^{\circ}\text{C}$ – a) 37 μm e b) 125 μm	56
Figura 31 - Amostras sinterizadas a 1200 $^{\circ}\text{C}$ – a) 37 μm e b) 125 μm	56
Figura 32 - Curva de Compressibilidade à verde e Sinterizado – seleção granulométrica 37 μm	57
Figura 33 - Curva de Compressibilidade à verde e Sinterizado – seleção granulométrica 125 μm	58
Figura 34 - Amostras sinterizadas à 1150 $^{\circ}\text{C}$: a) 37 μm granulometria fina b) 125 μm granulometria grosseira	59
Figura 35 - Amostras sinterizadas à 1200 $^{\circ}\text{C}$ granulometria grosseira: a) compactação 300 MPa b) compactação 700 MPa	60
Figura 36 - Amostras sinterizadas à 1200 $^{\circ}\text{C}$ granulometria grosseira - compactação 1000 MPa aumento de 1000 vezes	60
Figura 37 - Amostras sinterizadas à 1200 $^{\circ}\text{C}$ granulometria fina 37 μm a) compactação 300 MPa b) compactação 700 MPa	61
Figura 38 - Amostra sinterizada à 1200 $^{\circ}\text{C}$ granulometria fina 37 μm com compactação 500 MPa	62
Figura 39 - Gráfico do ensaio de resistência à compressão	65
Figura 40 - Filtro após formação de biofilme	67
Figura 41 - Protótipo em operação	68
Figura 42 - Frascos com coletas de esgoto bruto (a), efluente tratado com filtro (b) e efluente tratado sem filtro (c)	69
Figura 43 - DQO esgoto bruto, ETE convencional e ETE associada ao protótipo	70
Figura 44 - Eficiência da ETE e ETE associada ao protótipo comparada à DQO do esgoto bruto	71
Figura 45 - DBO esgoto bruto, ETE convencional e ETE associada ao protótipo	72
Figura 46 - Eficiência da ETE e ETE associada ao protótipo comparada à DBO do esgoto bruto	73
Figura 47 - OD esgoto bruto, ETE convencional e ETE associada ao protótipo	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Energia e matéria prima utilizada em vários processos de fabricação	17
Tabela 2 - Características técnicas do equipamento	42
Tabela 3 - Detalhes Construtivos do Protótipo do Filtro Biológico Percolador	42
Tabela 4 - Parâmetros de lançamento determinados pela resolução do CONSEMA 128/2006 (Rio Grande do Sul, 2006)	45
Tabela 5 - Resultado do ensaio de lixiviação conforme a NBR 10005 : 2004	49
Tabela 6 - Resultado do ensaio de solubilização conforme a NBR 10006: 2004	50
Tabela 7 - Composição elementar do pitcher, em percentagem de massa dos óxidos principais	54
Tabela 8 - Tempo para atravessar 20 ml de água através da amostra 125 µm	62
Tabela 9 - Tempo para atravessar 20 ml de água através da amostra 37 µm	63
Tabela 10 - Força máxima (N) e deformação na força máxima (mm) obtidos no ensaio de resistência à compressão	66
Tabela 11 - Índice de vazios do filtro cerâmico	67
Tabela 12 - DQO esgoto bruto, ETE convencional e ETE associada ao protótipo	70
Tabela 13 - DBO esgoto bruto, ETE convencional e ETE associada ao protótipo	72
Tabela 14 - OD esgoto bruto, ETE convencional e ETE associada ao protótipo	74

LISTA DE SIGLAS

3G	Amostra referente a compactação de 300 MPa da granulometria 125 µm
7G	Amostra referente a compactação de 700 MPa da granulometria 125 µm
10G	Amostra referente a compactação de 1000 MPa da granulometria 125 µm
3F	Amostra referente a compactação de 300 MPa da granulometria 37 µm
5F	Amostra referente a compactação de 500 MPa da granulometria 37 µm
7F	Amostra referente a compactação de 700 MPa da granulometria 37 µm
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Efluente
FBP	Filtro Biológico Percolador
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira
OD	Oxigênio Dissolvido
PIB	Produto Interno Bruto
PITCHER	Resíduo de Louça Sanitária
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos

SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	4
Lista de Tabelas.....	6
Lista de Siglas.....	7
1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1. Objetivo Geral.....	12
1.2. Objetivos Específicos.....	12
1.3. Estrutura da Pesquisa.....	12
1.4. Ineditismo.....	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1. Resíduos Sólidos.....	14
2.2. Pitcher.....	15
2.3. Tecnologia do Pó.....	16
2.3.1. Obtenção e Homogeneização dos Pós.....	18
2.3.2. Prensagem do Pó.....	19
2.3.3. Sinterização.....	20
2.4. Filtros.....	22
2.4.1. Tratamento de Esgotos.....	23
2.4.1.1. Tratamento Preliminar.....	23
2.4.1.2. Tratamento Primário.....	24
2.4.1.3. Tratamento Secundário.....	24
2.4.1.4. Tratamento Terciário.....	24
2.4.1.5. Estação Básica de Tratamento de Esgotos em quatro etapas.....	24
2.4.2. Aspectos gerais e princípio de funcionamento dos Filtros Biológicos Percoladores.....	25
2.4.2.1. Formação, Estrutura e Constituição de Biofilmes.....	27
2.4.2.2. Meio Suporte para Biofilme.....	29
2.4.3. Permeabilidade.....	29
2.5. Pesquisas recentes vinculadas ao trabalho.....	30
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
3.1. Caracterização do Pitcher.....	34
3.2. Análise Química.....	36
3.3. Confecção de Amostras.....	36

3.4.	Sinterização	37
3.5.	Curva de Compressibilidade	38
3.6.	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	39
3.7.	Permeabilidade do Sinterizado	40
3.8.	Ensaio de compressão.....	41
3.9.	Aplicação do filtro: Operação do protótipo	42
3.10.	Parâmetros analisados no efluente para validação da eficiência do filtro ...	44
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
4.1.	Caracterização do Pitcher	46
4.2.	Distribuição Granulométrica do Pitcher.....	51
4.3.	Análise Química	52
4.4.	Sinterização	54
4.5.	Curva de Compressibilidade.....	56
4.6.	Análise Microscópica do Sinterizado.....	58
4.7.	Permeabilidade	62
4.8.	Ensaio de Compressão.....	65
4.9.	Análise da superfície.....	66
4.10.	Aplicação do filtro: Operação do protótipo	67
4.11.	Parâmetros analisados no efluente para validação da eficiência do filtro ...	68
4.11.1.	Análise DQO	69
4.11.2.	Análise DBO	71
4.11.3.	Análise OD.....	73
5.	CONCLUSÃO.....	75
	REFERÊNCIAS	77
	ANEXO A – DESENHOS TÉCNICOS DA MATRIZ E PUNÇÕES UTILIZADOS.....	83

1. INTRODUÇÃO

O Brasil situa-se entre os quatro maiores produtores de cerâmica tradicional no cenário mundial (CAVALCANTE, 2004), entretanto, apenas 54,8% dos municípios brasileiros possuem um plano integrado de resíduos sólidos (IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2018). Dentro desse contexto, um dos principais resíduos de uma indústria cerâmica é o pó cerâmico obtido através da britagem de louças que não passaram no controle de qualidade, e que são descartados sem um destino adequado. Esse resíduo é denominado *pitcher* pela indústria que o cedeu.

O *pitcher* tem propriedades como resistência térmica e mecânica, pois provém de cerâmicos que contém argila, sílica e feldspato (GUERRA *et al.*, 2009). A argila é responsável pelas propriedades plásticas necessárias à moldagem do material, a sílica aumenta a resistência mecânica dos cerâmicos e o feldspato reduz a temperatura de fusão da mistura (AMIN *et al.*, 2016) (TABAK *et al.*, 2012).

Atualmente, de acordo com a indústria fornecedora do resíduo para esta pesquisa, uma única fábrica de louças sanitárias gera cerca de 300 toneladas/mês desse material, sendo que apenas 30% são reaproveitados na produção de novas louças. Segundo Medeiros (2012), as cerâmicas com defeitos, que originam o chamado *pitcher*, representam grande parte do resíduo gerado em uma indústria cerâmica. O volume de material descartado pelo setor de louça sanitária é alto, não existindo estudos sobre a disposição adequada desse resíduo sólido e a solubilidade dos seus materiais constituintes, ao longo do tempo e no meio ambiente (SILVA JUNIOR *et al.*, 2002).

No sentido de encontrar aplicações tecnológicas para esse resíduo, o objetivo dessa pesquisa visa o estudo do *pitcher* para utilização na fabricação de filtros sinterizados. Com o intuito de promover melhorias nas propriedades mecânicas e funcionais e realizar a ligação entre as partículas do pó obtido do *pitcher*, torna-se viável na sinterização a utilização das técnicas de tecnologia do pó convencional. Este processo permite a fabricação de diversos componentes a partir de pós cerâmicos e se distingue dos demais pelas seguintes características (THÜMMLER e OBERACKER, 1993):

- Utilização de pós cerâmicos como matérias-primas;

- Ausência de fase líquida ou presença parcial da mesma durante o processo de fabricação;
- Possui baixa intensidade energética e laboral, sendo um processo ecologicamente limpo;
- Produz componentes de alta qualidade com características homogêneas e reproduzíveis.

A sinterização consiste no aquecimento das peças comprimidas a temperaturas específicas abaixo do ponto de fusão do material-base da mistura e eventualmente acima do ponto de fusão do material secundário da mistura. Esse processo acontece sob condições controladas de velocidade de aquecimento, tempo, temperatura, velocidade de resfriamento e atmosfera do ambiente. Há uma ligação atômica entre superfícies de partículas vizinhas, sendo um processo físico, termicamente ativado, que faz com que um conjunto de partículas de determinado material, inicialmente em contato mútuo, adquira resistência mecânica a partir do mecanismo de sinterização (CHINELATTO, 2002) (TINKLEPAUGH, 1960). A peça pronta apresenta bom acabamento superficial e adequadas tolerâncias dimensionais assim como porosidade acentuada, ideal para fabricação de filtros; como nesta pesquisa objetiva-se fabricar filtros de adesão para o tratamento em esgotos sanitários o processo de tecnologia do pó demonstra-se o mais adequado.

O tratamento de esgotos sanitários é uma necessidade crescente, em virtude dos grandes volumes gerados. Em tempos onde a sustentabilidade deve reger as ações, o tratamento e reuso dos efluentes sanitários e industriais é prioridade (MARSHALL, 2007). Estima-se hoje, em dados globais, que 1,1 bilhão de pessoas no planeta consuma água não tratada. Na Índia, por exemplo, o Banco Mundial estima que 21 % das doenças atendidas estão relacionadas ao consumo de água (RAJASULOCHANA e PREETHY, 2016). Uma alternativa para tratamento são os Filtros Biológicos Percoladores (FBPs) que apresentam simplicidade operacional, baixos custos de operação, manutenção e baixo consumo energético, baixa demanda de área, entre outras vantagens (JORDÃO e PESSÔA, 2017). Os FBPs consistem em um tanque contendo materiais de forma que constituam um leito fixo, onde o efluente percola, fazendo com que a matéria orgânica seja oxidada pelos microrganismos aderidos ao meio suporte. O meio suporte é o enchimento dos FBPs e tem a finalidade de suporte para o crescimento da biomassa, por onde escoar o esgoto. O material selecionado é

racionalmente arranjado nos tanques, para que haja uma circulação de esgoto e ar, mantendo o ambiente nas condições aeróbias favoráveis ao equilíbrio da cultura biológica (JORDÃO e PESSÔA, 2017) (ALMEIDA, 2007).

1.1. OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa tem como objetivo geral o desenvolvimento de filtros cerâmicos, utilizando o resíduo pitcher para aplicação em efluentes, especificamente esgoto urbano.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos para o presente trabalho, tem-se:

- a) Caracterizar o pitcher;
- b) Determinar o processamento do pitcher;
- c) Estudar os parâmetros de compactação e sinterização do pitcher;
- d) Desenvolver e fabricar filtros protótipos;
- e) Caracterizar os filtros de maneira física, mecânica e química;
- f) Criar protótipo teste para aplicação dos filtros em meio aquoso;
- g) Determinar os resultados de DQO e DBO dos resíduos aquosos dos esgotos após filtração;
- h) Definir rota de processo, a baixo custo e otimizada, para fabricação do filtro por tecnologia do pó.

1.3. ESTRUTURA DA PESQUISA

A presente tese está estruturada em seis capítulos. No Capítulo 1. Introdução são apresentadas as considerações iniciais sobre o tema da pesquisa, justificativa da escolha, objetivos, delimitações e ineditismo do trabalho. O Capítulo 2. Referencial teórico, apresenta as pesquisas relacionadas ao assunto e temas considerados relevantes para a contextualização, desenvolvimento e realização da pesquisa. No Capítulo 3. Metodologia é detalhada a proposta de metodologia experimental a ser aplicada no decorrer da pesquisa. O Capítulo 4. Resultados e Discussões apresenta os resultados obtidos, e que dão suporte à análise de viabilidade desta tese. As conclusões finais compõem o quinto e último capítulo.

1.4. INEDITISMO

O ineditismo da presente pesquisa se dá no desenvolvimento de um filtro para efluentes à base de um resíduo – pitcher – o qual não possui uma reciclagem adequada, permitindo às empresas fabricantes de louças sanitárias uma nova rota de processamento deste resíduo para atender à lei de resíduos sólidos no Brasil.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Com o intuito de aprofundar os conceitos relacionados a esta pesquisa, este capítulo apresenta os fundamentos teóricos do processo de obtenção do pitcher e tecnologia do pó, filtros e tratamento de efluentes, descrevendo seus principais aspectos.

2.1. RESÍDUOS SÓLIDOS

A pesquisa e o desenvolvimento de alternativas de matérias primas naturais, assim como novas técnicas de fabricação para processos mais eficientes, se fazem necessários para otimização e desenvolvimento sustentável nas indústrias (SILVA, MORAES e MACHADO, 2015).

A NBR 10.004 (ABNT, 2004a) define resíduo sólido como:

“Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.”

A mesma norma classifica os resíduos sólidos de acordo com a sua periculosidade:

- a) resíduos classe I - Perigosos;
- b) resíduos classe II – Não perigosos; – resíduos classe II A – Não inertes.
– resíduos classe II B – Inertes.

Em 2 de agosto de 2010 foi aprovada a Lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), tendo por finalidade promover a destinação correta de todo tipo de resíduo, por meio da responsabilidade compartilhada dos diferentes agentes envolvidos na cadeia produtiva, abrangendo fabricantes, comerciantes, distribuidores, consumidores e responsáveis pelos serviços públicos de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos.

Seu Artigo 9º diz que na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente

adequada dos rejeitos. Enquanto o Artigo 13º classifica os resíduos sólidos quanto à sua origem e periculosidade.

2.2. PITCHER

O setor industrial de fabricação de louças cerâmicas tem expandido sua produção conforme o aumento de demanda da construção civil e o crescimento populacional; conseqüentemente a quantidade de resíduo gerado neste processo também aumenta. No Brasil, ele já é responsável por mais de 1% do PIB (Produto Interno Bruto). Em busca de minimização dos custos, da diminuição de perdas e redução dos danos ao meio ambiente, as indústrias de cerâmica procuram soluções a curto prazo para seus resíduos industriais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2017) (CAVALCANTE, 2004).

Um dos principais resíduos no processo de fabricação de louça cerâmica é o pitcher que é constituído por cacos de louças que apresentaram defeitos durante sua fabricação. São louças que não passaram no teste de qualidade e são trituradas, para que seu resíduo seja parcialmente reinserido na produção de pisos, cerâmicos e refratários (CAVALCANTE, 2004) (MEDINA *et al.*, 2011) (CASAGRANDE *et al.*, 2008).

A louça sanitária é fabricada com massas constituídas basicamente de argilominerais (argila plástica e caulim), quartzo, feldspato podendo incluir rochas cerâmicas como granito, pegmatito e filito como fundentes. Na Figura 1 pode-se visualizar as etapas de obtenção do pitcher: A Figura 1 a) exibe a peça com defeito que sai da linha de produção e é descartada, a Figura 1 b) mostra a passagem dessa peça por um britador onde ocorre a quebra dessa louça transformando-a em partículas de diversos tamanhos, ou seja, no pitcher que é apresentado na Figura 1 c).

Figura 1 – Etapas de obtenção do pitcher a) Peça cerâmica com defeito; b) Britagem da louça; c) Pitcher



Devido à quantidade considerável deste tipo de resíduo produzido pelas grandes indústrias, é recomendado que ele não seja descartado diretamente na natureza (WITT, DA SILVA e ALBACH, 2018). A pesquisa e o desenvolvimento de alternativas de matérias primas naturais, assim como novas técnicas de fabricação para processos mais eficientes, se fazem necessários para otimização e desenvolvimento sustentável nas indústrias. O pitcher, assim sendo, é percebido como uma oportunidade de contribuição para o desenvolvimento de tecnologia em um resíduo ainda pouco explorado.

A classificação de resíduos conforme fluxograma determinado pela ABNT NBR 10004:2004 se faz necessária pois determina os principais aspectos físico-químico-biológicos de um resíduo, traz um panorama sobre quais os principais impactos ambientais que os resíduos podem gerar em seu descarte. Assim sendo, de acordo com sua classificação pode-se determinar qual o correto gerenciamento da coleta, transporte, destinação final e reciclagem.

2.3. TECNOLOGIA DO PÓ

Segundo Callister (2016), a tecnologia do pó é considerada o análogo cerâmico à metalurgia do pó, e é utilizada para fabricar diversas composições. A tecnologia do pó é um processo que está com seu mercado em crescimento constante e é baseado na prensagem de pós no formato desejado e após encaminhado para sinterização para união das partículas. Diferentemente do que pode ocorrer nos pós-metálicos, não existe deformação plástica das partículas durante a compactação.

A indústria vem abrindo cada vez mais espaço para peças sinterizadas, utilizadas em automóveis, eletrodomésticos, telefones celulares, instrumentos cirúrgicos, armamentos, artigos esportivos, ferramentas entre outros. Pós de praticamente todos os metais e cerâmicos podem ser produzidos e utilizados em processos de produção que permitem controle preciso da composição química, das características e propriedades dos produtos (CHIAVERINI, 2001). A Tabela 1 apresenta um comparativo entre a energia necessária e o percentual de aproveitamento da matéria prima em diferentes processos de fabricação.

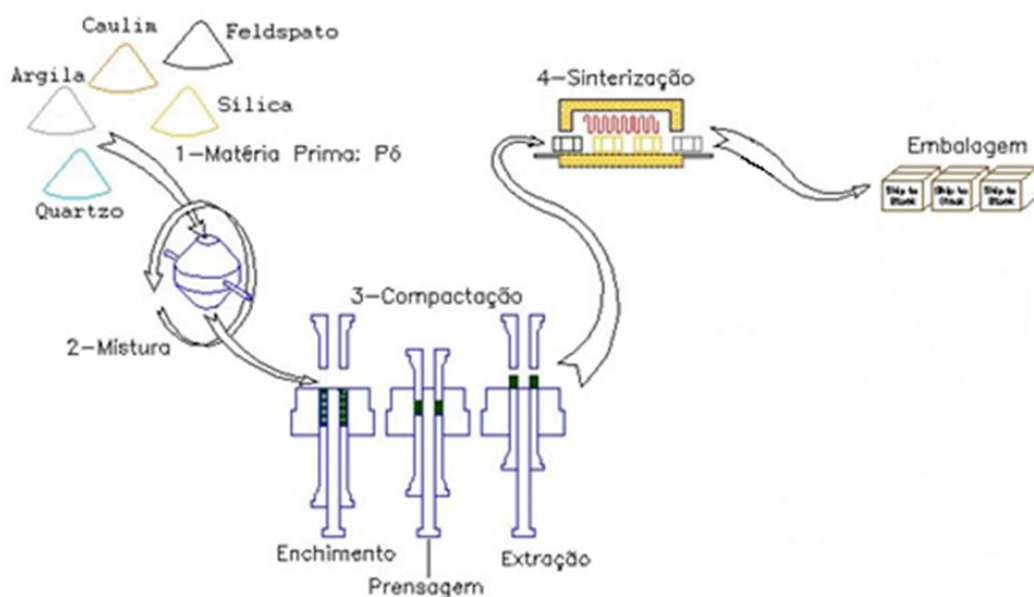
Tabela 1 - Energia e matéria prima utilizada em vários processos de fabricação

Processo de Fabricação	Utilização de Matéria Prima (%)	Energia necessária para produzir 1 kg de peça acabada (J)
Fundição	90	30000 - 38000
Metalurgia do Pó	95	29000
Extrusão a frio e a morno	85	41000
Forjamento a quente em matriz fechada	75 - 80	46000 - 49000
Processos de usinagem	40 - 50	66000 - 82000

Fonte: SILVA e JÚNIOR, 1998

A tecnologia do pó é uma das técnicas de fabricação mais utilizadas em matriz cerâmica por ser um método simples e economicamente eficiente, tendo como base as etapas de mistura de pós, compactação e sinterização (BOCCACCINI *et al.*, 2021). A Figura 2 apresenta as etapas deste método. Inicialmente, ocorre a mistura dos pós, no caso desta pesquisa, o pó é o pitcher. A Figura 2 foi adaptada para incluir os principais componentes encontrados no pitcher nas etapas 1 e 2. Após, ocorre a compactação do pó, também chamada de compressão, no molde específico da peça final, ou seja, o filtro biológico, sendo encaminhado para a sinterização para união das partículas finalizando assim o processo (FRANCIS, 2016).

Figura 2 - Fluxograma da rota da tecnologia do pó



Fonte: Adaptado de MORO e AURAS, 2007

A peça final, fabricada por tecnologia do pó, apresenta bom acabamento superficial e adequadas tolerâncias dimensionais com um baixo índice de desperdício, visto que quase toda a matéria prima inserida para fabricação do produto é utilizada, seguindo a lei da constância e volume dos processos de conformação (GERMAN, 2014) (SCHAEFFER, 2004).

As características, que devem ser conhecidas e controladas neste processo, são (HOGANAS, 2015):

- Distribuição e tamanho da partícula;
- Formato da partícula;
- Porosidade;
- Estrutura da partícula;
- Densidade aparente;
- Compressibilidade;
- Composição química e pureza.

2.3.1. Obtenção e Homogeneização dos Pós

Moer um material sólido é uma operação importante para reduzir seu tamanho ou para aumentar a área de superfície. Historicamente é utilizado no processamento de minerais a fim de liberar substâncias úteis dispersas inerentemente nele. Com o tempo, esta operação foi estendida a outros ramos industriais como no processo da tecnologia e metalurgia do pó. O objetivo desta operação é a homogeneização das partículas, melhorar a formabilidade, modificação de forma e controle na propriedade de superfície para sólidos (HIGASHITANI, MAKINO e MATSUSAKA, 2020).

Em materiais metálicos são utilizados processos de atomização, síntese mecânica e métodos químicos (POPOVICH e SUFIIAROV, 2016). Já em cerâmicos a obtenção de pós ocorre por síntese (queima), precipitação ou moagem (QUESADA, VILLAREJO e SOTO, 2019).

Nesta pesquisa foi utilizado um resíduo cerâmico que foi transformado em partículas através de moagem por britador.

2.3.2. Prensagem do Pó

Prensagem é definido como um processo de conformação baseado na compressão de um determinado pó em uma matriz ou molde para chegar na forma final do produto por meio de aplicação de pressão. Todas as peças cerâmicas começam no formato de pó, de uma maneira ou de outra, porém como este pó ganha forma, é o que diferencia os tipos de processos empregados.

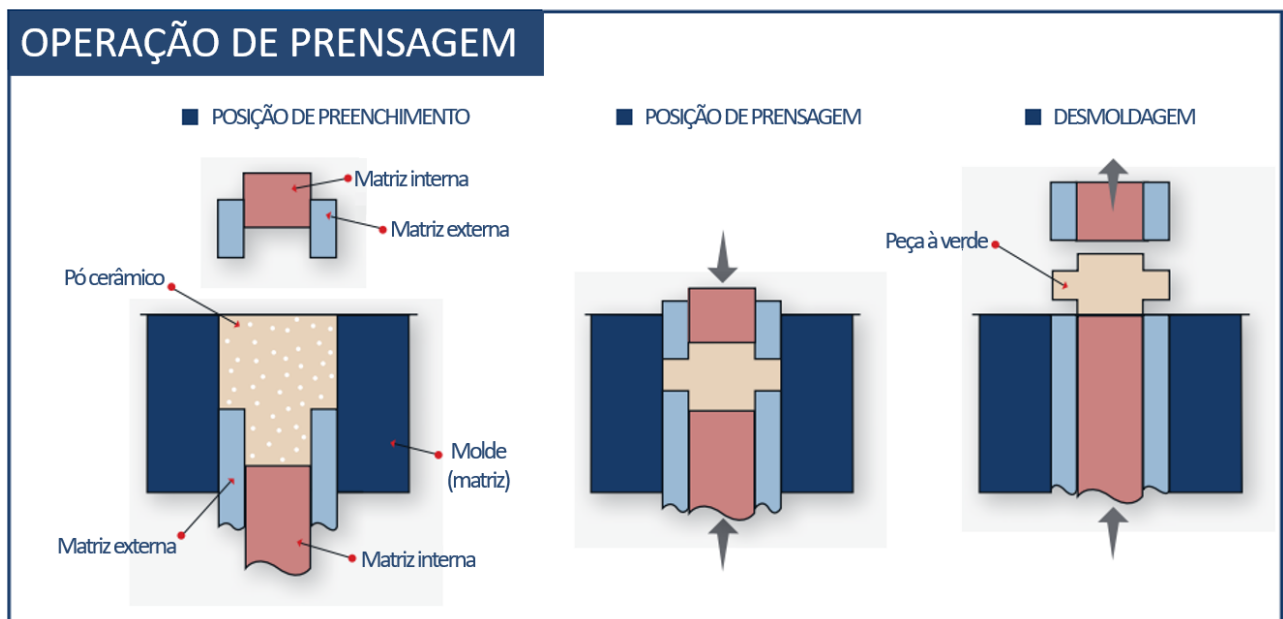
É através da prensagem por pressão que se inicia este processo, formando os corpos à verde. Se nesta etapa ocorresse apenas o derramamento do pó na matriz, a densidade alcançada seria de cerca de 60% (GERMAN, 2014).

Os corpos à verde, anterior ao processo de sinterização, são denominados compactados. Estes compactados são fabricados misturando ao pó lubrificante para desmoldagem e aplicando uma pressão para aumentar a densidade e dar forma a este pó. A pressão aplicada varia entre a gravidade até milhares de atmosferas aplicadas, dependendo do tipo de peça a ser fabricada. Quanto menor a pressão, menor o custo do processo no sentido de gasto de energia e maquinário (GERMAN, 2014).

Prensagem uniaxial é o método mais comum para formar componentes por processos de fabricação que envolvem pó, é um processo de baixo custo e adaptável para produções de alto volume de compactados de pó que tenham forma geométrica relativamente simples. Este método consiste em compactar um pó em uma matriz com pressões que variam entre 20 e 700 MPa aplicados pela prensa utilizada. É necessária uma pressão minimamente alta para garantir que compactado à verde tenha estrutura suficiente para as próximas etapas (LEMOISSON e FROYEN, 2005).

A Figura 3 apresenta a operação de prensagem que consiste, basicamente, em três passos: preenchimento da matriz com o pó, compactação do pó e remoção do compactado (FRANCIS, 2016).

Figura 3 - Operação de prensagem



Fonte: Adaptado de VOGT CERAMIC COMPONENTS, 2016

Para união destas partículas e finalização do processo, se faz necessário a aplicação da sinterização.

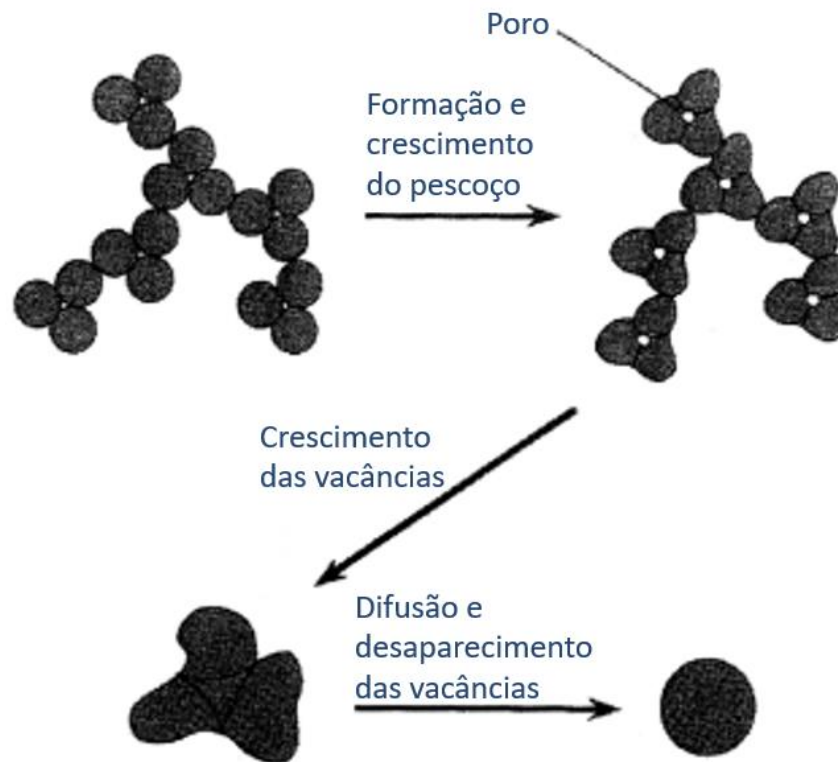
2.3.3. Sinterização

Sinterização é um método de produção de componentes a partir de pós, cerâmicos ou metálicos, através do aquecimento até que as suas partículas se unam para formar o componente desejado (FANG, 2010).

O fenômeno de sinterização envolve a fusão de partículas, redução de volume, diminuição da porosidade e aumento do tamanho do grão. É um processo físico e termicamente ativado, que faz com que um conjunto de partículas de determinado material em contato mútuo, adquira resistência mecânica a partir do mecanismo de sinterização. Na indústria, a sinterização é particularmente importante no controle do tamanho dos nanomateriais, na construção de estruturas 3D por sinterização a laser, dentre outros (HIGASHITANI, MAKINO e MATSUSAKA, 2020).

O processo de sinterização pode ser dividido em três estágios elementares sucessivos, conforme mostrado na Figura 4. O estágio inicial corresponde à formação e crescimento do pescoço, no estágio intermediário ocorre o crescimento das vacâncias finalizando com difusão e desaparecimento dessas vacâncias (HIGASHITANI, MAKINO e MATSUSAKA, 2020).

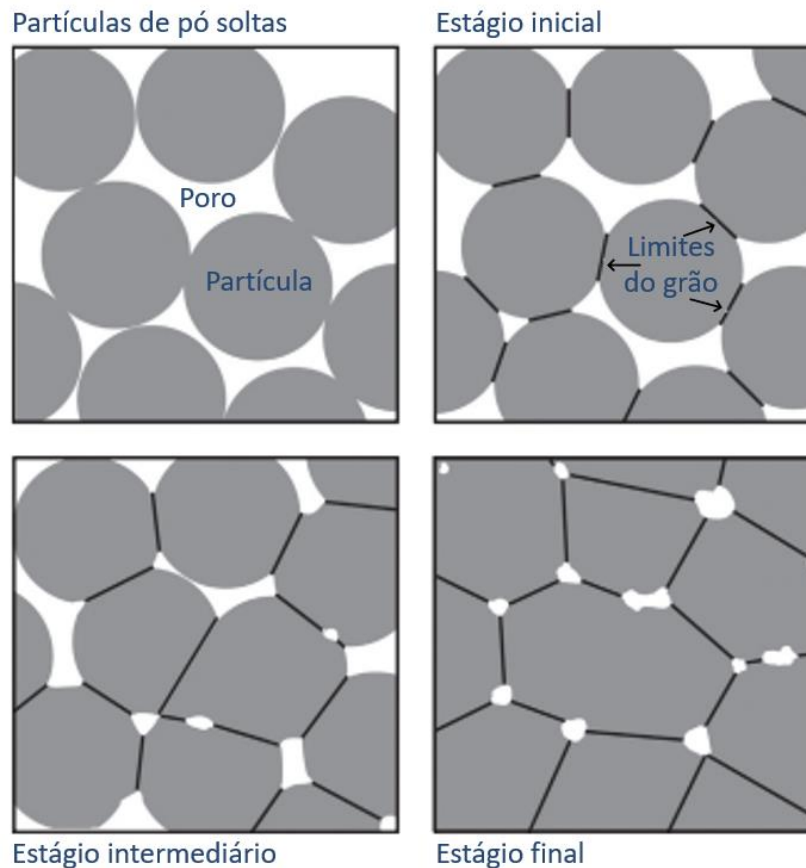
Figura 4 - Sinterização de múltiplas partículas primárias



Fonte: Adaptado de HIGASHITANI, MAKINO e MATSUSAKA, 2020

Na Figura 5 pode-se visualizar estes mesmos estágios da sinterização, porém com diversas partículas em fase de união. Os estágios de sinterização representam a progressão geométrica da transformação de um simples e frágil pó compactado em uma estrutura dúctil e resistente. O primeiro estágio, ainda durante a pré-sinterização, apresenta uma união de partículas através de forças atômicas fracas, ou seja, as partículas ainda não estão consolidadas. O segundo estágio é onde cada grão aumenta de tamanho sem interagir com grãos vizinhos. O terceiro estágio se caracteriza pelo arredondamento de poros, onde os pescoços vizinhos crescem e interagem formando uma rede. No estágio final os poros tubulares se fecham para formar discretos poros esféricos, consolidando a união das partículas e formação da peça (GERMAN, 2014).

Figura 5 - Estágios da sinterização

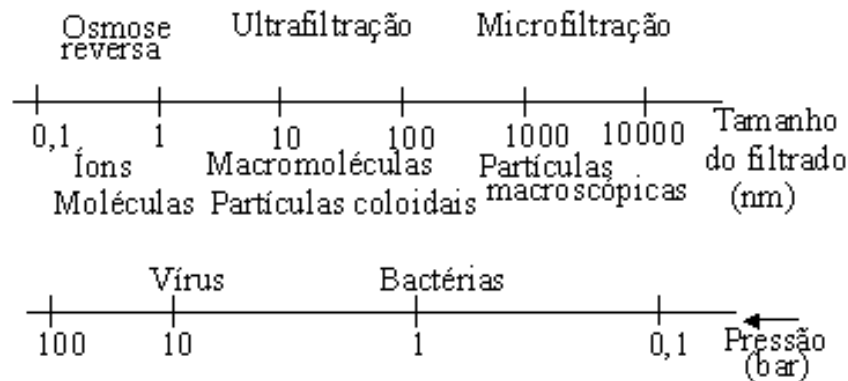


Fonte: Adaptado de GERMAN, 2014

2.4. FILTROS

Filtros encontram aplicações em vários campos: indústria farmacêutica, siderúrgica, indústria de bebidas, processamento de alimentos, purificação de água, filtração de lubrificantes, aparelhos médicos, filtração de gases, dentre outros. Filtros cerâmicos encontram nichos de aplicações onde sejam requeridos inércia química, temperaturas elevadas, lavagem reversa e altas pressões de filtração. Considerando-se o tamanho dos poros da membrana filtrante os filtros são classificados como mostra a Figura 6 (DE SOUZA e SOARES, 1999).

Figura 6 - Classificação dos processos de separação, tamanho do filtrado e pressão aplicada



Fonte: DE SOUZA e SOARES, 1999

Na Figura 6 pode-se também visualizar a proporcionalidade entre pressão e tamanho de partícula; onde quanto maior a pressão maior a retenção das partículas do filtrado e a capacidade de filtragem.

2.4.1. Tratamento de Esgotos

Neste item há uma breve descrição dos processos de tratamento de esgotos, a tecnologia dos filtros biológicos percoladores e os principais materiais utilizados como meio suporte, oferecendo embasamento para apresentar nova proposta de material utilizando o pitcher.

Um tratamento de esgoto tem por objetivo a remoção de impurezas, composições presentes nas águas de uso doméstico, poluentes e organismos patogênicos. Sendo subdividido em quatro etapas: tratamento preliminar, primário, secundário e terciário (ALBUQUERQUE *et al.*, 2017).

2.4.1.1. Tratamento Preliminar

O tratamento preliminar destina-se à remoção de sólidos sedimentáveis grosseiros com diâmetros superiores de 1 mm a 10 mm como areia, terra, penas, plásticos, fios e similares (GIORDANO, 2004). A remoção dos sólidos grosseiros é realizada por meio físico mecânico de maneira manual ou automatizada, como por exemplo grades, peneiras rotativas ou trituradores. As principais finalidades da remoção dos sólidos grosseiros são: Proteção dos dispositivos de transporte dos esgotos (bombas e tubulações), Proteção das unidades de tratamento subsequentes, Proteção dos corpos receptores (RIFFAT, 2012).

2.4.1.2. *Tratamento Primário*

O tratamento primário envolve a remoção física de uma parte dos sólidos suspensos das águas residuais, geralmente por sedimentação. O esgoto é encaminhado para um local onde os sólidos (lodo) podem se depositar no fundo e o óleo e substâncias mais leves podem subir ao topo. Essas camadas são então removidas e o líquido remanescente pode ser encaminhado para tratamento secundário (WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF); ASSOCIATION OF BOARDS OF CERTIFICATION (ABC), 2018).

2.4.1.3. *Tratamento Secundário*

O tratamento secundário consiste em um tratamento biológico do tratamento primário e é responsável pela degradação da matéria orgânica dissolvida do esgoto através de uma unidade biológica, na qual bactérias e outros microrganismos se alimentam de matéria orgânica, removendo-a assim do esgoto. O objetivo desta etapa é reduzir a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e sólidos suspensos do efluente para níveis aceitáveis (TONETTI *et al.*, 2018).

2.4.1.4. *Tratamento Terciário*

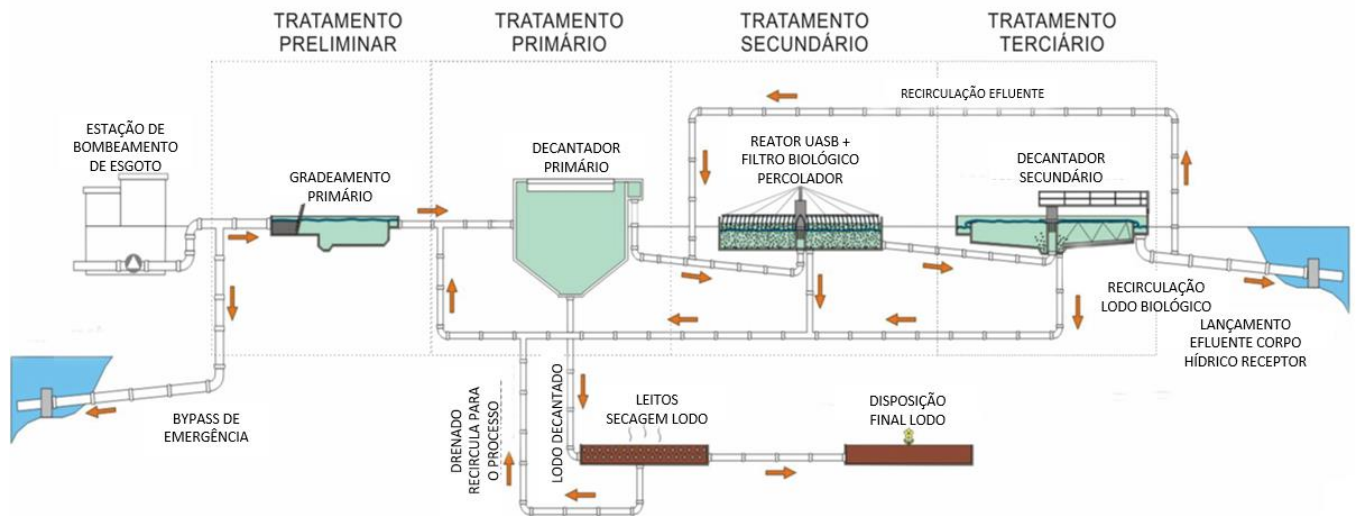
Quando o efluente do tratamento secundário não atende aos requisitos esperados é necessário um tratamento adicional para reduzir os níveis de contaminantes. Esta etapa é denominada tratamento terciário, também conhecida como tratamento avançado. Destina-se à melhoria da qualidade do efluente pelas remoções de cor residual, turbidez e desinfecção.

O tratamento terciário pode incluir precipitação química, adsorção de carbono, filtração por mídia granular ou por membrana, dentre outros. (VON SPERLING, 2014) (TONETTI *et al.*, 2018).

2.4.1.5. *Estação Básica de Tratamento de Esgotos em quatro etapas*

A Figura 7 mostra o funcionamento básico de um sistema de tratamento de efluentes típico com as quatro etapas descritas. A proposta desta pesquisa é instalar o FBP confeccionado com pitcher no final do processo, em escala laboratorial, como uma etapa complementar de tratamento visando a remoção de matéria orgânica não removida pelo tratamento da ETE. O sistema de tratamento apresentado na Figura 7 posiciona o filtro biológico percolador (FBP) na etapa de tratamento secundário.

Figura 7 - Fluxograma de Estação Básica de Tratamento de Esgotos



Fonte: THIESEN, 2018

2.4.2. Aspectos gerais e princípio de funcionamento dos Filtros Biológicos Percoladores

Os filtros biológicos percoladores (FBPs) são sistemas aeróbios de tratamento de esgotos que realizam a conversão de constituintes a partir de mecanismos associados à biomassa aderida, sendo caracterizados pela aplicação contínua de esgoto sanitário em um meio suporte. A percolação do líquido permite o crescimento de microrganismos na superfície do material que foi utilizado como meio suporte, formando assim uma película ativa de microrganismos comumente chamada de biofilme. Destacam-se pela sua simplicidade e baixo custo operacional (CORRÊA *et al.*, 2019) (ALMEIDA, OLIVEIRA e CHERNICHARO, 2011).

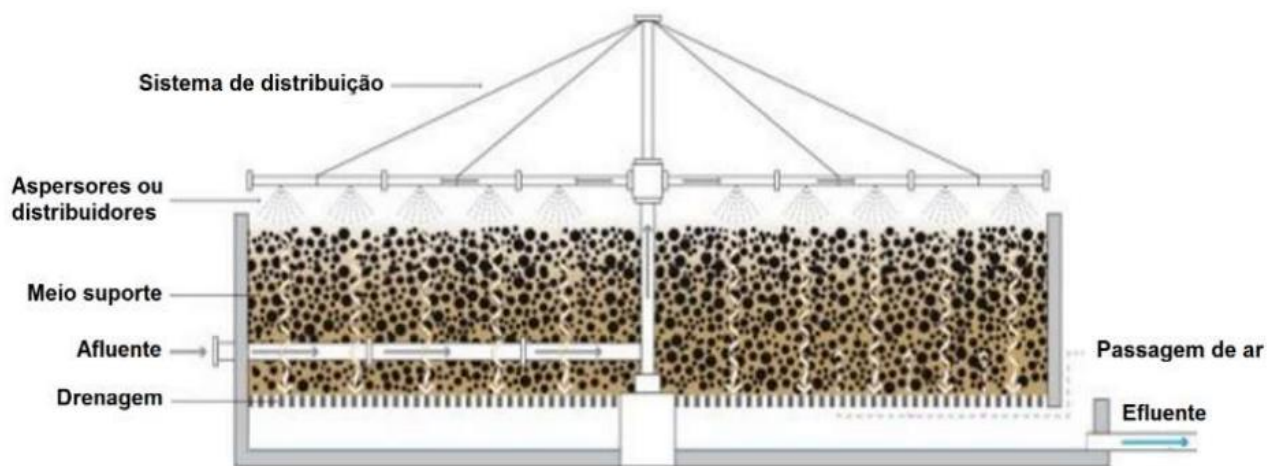
O filtro biológico é chamado de filtro, porém não realiza uma filtração mecânica, serve na verdade de meio suporte, como próprio nome diz, para o biofilme aderido. Este filme aderido por sua vez, abriga e mantém atividade biológica de micro-organismos e bactérias que realizam a degradação da matéria orgânica (VON SPERLING e CHERNICHARO, 2005) (JORDÃO e PESSÔA, 2017).

As duas principais vantagens do uso de filtros percoladores são o menor consumo de energia e uma operação simplificada (METCALF & EDDY, 2016).

A Figura 8, em corte, apresenta o modo de operação de um FBP. O sistema é constituído de um tanque com meio suporte sobre o qual os esgotos são aplicados

continuamente por meio de distribuidores rotativos ou estacionários. Os distribuidores rotativos geralmente são movidos pela própria carga hidráulica dos esgotos, mas também podem ser motorizados. Esta variação da rotação dos distribuidores é empregada para o controle do biofilme e eliminação de larvas de insetos (PARKER *et al.*, 1995) (ALBERTSON, 1995).

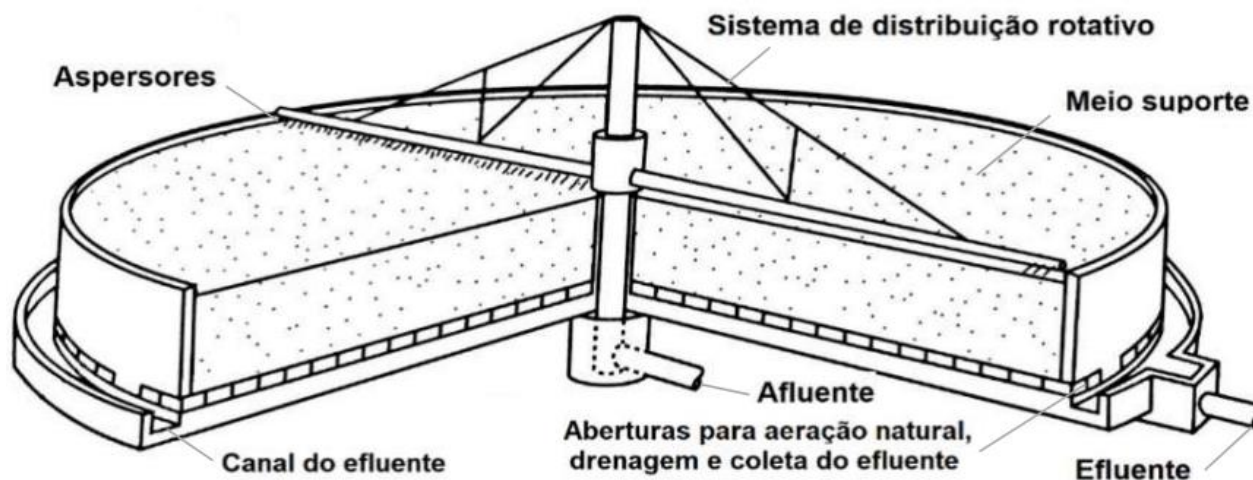
Figura 8 - Seção típica de um filtro biológico percolador e seus componentes



Fonte: BORBA, 2017

A Figura 9, em corte tridimensional, apresenta o funcionamento do reator biológico. É possível verificar que a aplicação contínua e uniforme do esgoto se realiza através de distribuidores hidráulicos, que percola pelo meio suporte em direção aos drenos de fundo. Seu funcionamento ocorre em fluxo contínuo e sem inundação da unidade. São sistemas aeróbios, permanentemente sujeitos à renovação do ar, que, naturalmente, circula nos espaços vazios do meio suporte, disponibilizando o oxigênio necessário para a respiração dos microrganismos (BRESSANI-RIBEIRO *et al.*, 2018).

Figura 9 - Corte tridimensional do filtro biológico percolador



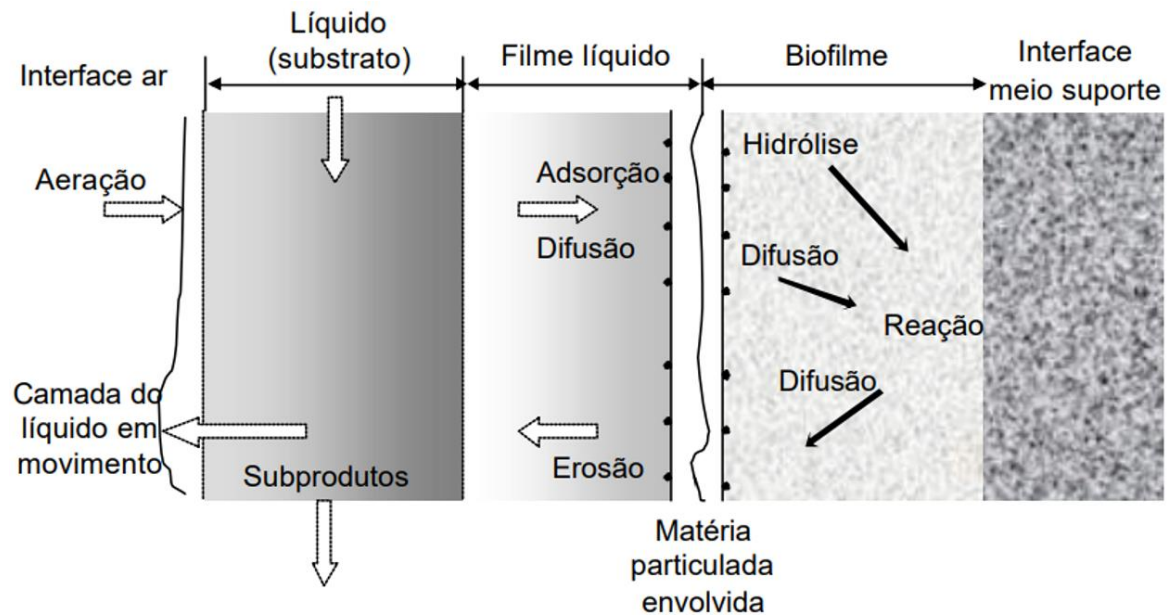
Fonte: BORBA, 2017

2.4.2.1. Formação, Estrutura e Constituição de Biofilmes

Após o início da percolação do esgoto se desenvolve um filme biológico sobre a superfície do meio o meio de suporte, ou seja, uma película gelatinosa de estrutura complexa que tem a função de reter a água, povoada por bactérias com espessura que variam entre 2 e 3 mm. Esta película será responsável pela atividade biológica desse filme e estabilização dos constituintes orgânicos do esgoto, que é aspergido sobre o meio suporte (VIANNA e DE MELO, 2019). Quanto maior for a superfície específica oferecida pelo meio, mais eficiente será o filtro (BRESSANI-RIBEIRO *et al.*, 2018).

A Figura 10 apresenta as reações do substrato, tanto do consumo quanto da geração de subprodutos, gerados através das reações bioquímicas da filtração aeróbica. Segundo GONÇALVES *et al.* (2001), o metabolismo de conversão ocorre no interior do biofilme e o transporte do substrato orgânico se realiza por meio de processo de difusão, iniciando na interface líquido do biofilme e, após, no próprio biofilme. Os subprodutos provenientes das reações de oxiredução são transportados no sentido inverso, da camada mais interna (anaeróbia) para a camada mais externa (aeróbia) do biofilme.

Figura 10 - Mecanismos e processos envolvidos com o transporte e degradação do substrato em biofilmes



Fonte: GONÇALVES *et al.*, 2001





Segundo JORDÃO e PESSÔA (2017), o biofilme tem sua comunidade biológica constituída predominantemente pelas seguintes espécies: *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Alcaligenes*. Já na região mais interna do biofilme são encontradas formas filamentosas de *Sphaerotilus Natans* e *Beggiotoa*. As espécies identificadas de fungos têm sido: *Fusarium*, *Mucor*, *Penicillium*, *Geotrichum*, *Sporotrichum*. Os protozoários predominantes são do grupo de ciliados, incluindo *Vorticella*, *Opercularia*, e *Epistylis*, que possuem a particularidade de se alimentar do próprio biofilme, ocasionando na formação de flocos com melhor sedimentabilidade e na obtenção de um efluente de melhor qualidade.

Uma desvantagem deste filtro, que impacta diretamente no seu desempenho é o desprendimento da película, que pode ser causada por erosão ou cisalhamento. A erosão é caracterizada pela contínua remoção de pequenas partículas do biofilme, de forma natural, pelo próprio processo biológico. A erosão ocorre de maneira prejudicial quando há baixas concentrações de substrato e escoamento que gere turbulência. O cisalhamento está relacionado a esporádicos desprendimentos de maiores fragmentos de película, resultante de alterações dentro do próprio biofilme (PORTO, 2002).

2.4.2.2. Meio Suporte para Biofilme

O meio suporte para biofilme é o material com o qual se faz o preenchimento da estrutura do FBPs, são de fundamental importância para o desempenho do processo. Segundo ALMEIDA, OLIVEIRA e CHERNICHARO (2011) existem diversos tipos de materiais que podem ser utilizados, tais como: pedra britada, escória de alto-forno, e de maneira mais eficiente, materiais sintéticos de plástico de várias formas e tamanhos. A Figura 11 ilustra os diferentes tipos de materiais de meio suporte, mais comumente utilizados.

Figura 11 - Principais características dos materiais de enchimento utilizados nos reatores

Material de enchimento	Dimensões	Peso específico (kg.m ⁻³)	Área superficial específica (m ² .m ⁻³ .d)	Imagem	Breve comentário sobre o meio suporte
Escória de alto-forno (Esc)	Diâmetro: 5-8 cm	1350	60		Constituído de resíduos da indústria siderúrgica. Apresenta superfície irregular e certa porosidade superficial.
Anéis plásticos (Anéis)	Diâmetro: 8.4 cm Altura (unidade): 9.0 cm	50	80		Tradicionalmente utilizado em sistemas de biomassa aderida com satisfatória área superficial específica e índice de vazios.
Downflow Hanging Sponge (DHS)	Seção triangular: 3 cm Espaçamento: Entre espumas: 5,5 cm Entre cortinas: 4,0 cm	---	87		Constituído de uma série de cortinas verticais (colocadas lado a lado), com espumas lineares de seção triangular fixadas na superfície de cada cortina. Proposto por Machdar <i>et al.</i> (2000).
Aparas de eletroduto corrugado (Cond)	Diâmetro: 2.54 cm Altura (unidade): 4 cm	54,2	220		Constituído por aparas de eletrodutos em PVC.

Fonte: ALMEIDA, OLIVEIRA e CHERNICHARO, 2001

O material selecionado é disposto nos tanques, de modo que favoreça a circulação de esgoto e ar, mantendo o ambiente nas condições aeróbicas favoráveis ao equilíbrio da cultura biológica. Para a escolha do tipo de enchimento necessita-se do peso específico, da superfície específica e do índice de vazios do meio suporte pois o influencia diretamente a circulação dos esgotos e do ar, por entre a camada suporte, mantendo o ambiente nas condições aeróbicas favoráveis ao equilíbrio da cultura biológica (JORDÃO e PESSÔA, 2017).

2.4.3. Permeabilidade

Permeabilidade é a capacidade de um gás ou um fluido passar por um material. Está associada à uma passagem de um fluido com uma viscosidade conhecida, através de uma área e espessura unitárias de uma camada porosa. Os estudos nesse sentido,

iniciaram em 1896, quando o cientista D'Arcy, na França, analisou o fluxo da água passando por camadas de diversas espessuras de areia, descrevendo em fórmula o princípio básico da permeabilidade conforme apresentada pela Equação 1 (SALVINI, INNOCENTINI e PANDOLFELLI, 2002).

$$\Delta P/\varepsilon = Q \cdot \eta / A \cdot \psi \quad (1)$$

Onde ΔP representa a variação da queda de pressão, em Pa, e ε é a espessura da amostra, em m. Q é a vazão do fluido, em m^3/s e η representa viscosidade dinâmica do fluido ($kg/m.s$) e ψ é coeficiente de permeabilidade viscoso.

Conforme o processo de fabricação ocorre uma variação do tipo de permeabilidade. A funcionalidade de produto filtrante, muitas vezes, é representada em termos de permeabilidade e resistência mecânica. Por isso, o conhecimento da permeabilidade em filtros é de fundamental importância para o seu funcionamento (SALVINI, INNOCENTINI e PANDOLFELLI, 2000).

O filtro poroso é um produto comercial muito utilizado em indústrias químicas, petroquímica, siderurgia, hospitais, farmacêutica, alimentos, bebidas, entre outras, no processo de separação de gases, de líquidos, filtragem, aeração, dispersão (KARSOKAS *et al.*, 2004). O processo de conformação de pós é importante porque define propriedades e características que terão intensos reflexos nos processos subsequentes e no produto final. No caso dos filtros procura-se uma combinação adequada entre o volume total e a distribuição de tamanho de poros presentes. Tais características definem a permeabilidade e por consequência a utilização do produto.

2.5. PESQUISAS RECENTES VINCULADAS AO TRABALHO

Na pesquisa de Figueiredo (2020) foi utilizado resíduo de louças sanitárias, chamado de *scrap*, como agregado graúdo na composição do concreto, em uma mistura com granulometria homogênea. Através de diversos ensaios e metodologias quantitativas e procedimentos como teste de umidade das análises físicas dos corpos de prova e dos materiais, ensaio de abatimento do concreto e teste de resistência a compressão demonstrou ser possível a utilizados em estruturas.

Almeida *et al.* (2019) estudaram as propriedades do concreto fabricado com resíduo de louça sanitária, foi estudado a adição do resíduo como agregado graúdo em

diferentes proporções na formulação do concreto. Algumas formulações não apresentaram adesividade nos modos de ruptura e pouca aderência entre o resíduo cerâmico e a argamassa, porém, apresentou boa resistência à compressão. Os resultados no geral foram aceitáveis, sem comprometer a trabalhabilidade do concreto. Ortigara e Fontanini (2019) também realizaram estudos de aplicação de resíduo cerâmico como carga no cimento, demonstrando resultados positivos.

Albuquerque (2009) trouxe em sua pesquisa a reciclagem do resíduo de louça na própria fabricação da louça, porém antes da sua sinterização, ou seja, resíduo da lavagem da argila, resíduo da massa da barbotina e o resíduo do lodo. Os resultados demonstraram propriedades bastante aceitáveis para a produção de revestimentos cerâmicos. Silva *et al.* (2014) também realizaram pesquisas com resíduo de louça antes da sinterização, porém, com o objetivo de introduzir na argila da fabricação de produtos artesanais como utilitários de mesa. Através dos resultados obtidos, observou-se que a inserção de diferentes percentuais do resíduo industrial na argila *in natura* melhorou as propriedades e atenderam aos requisitos técnicos.

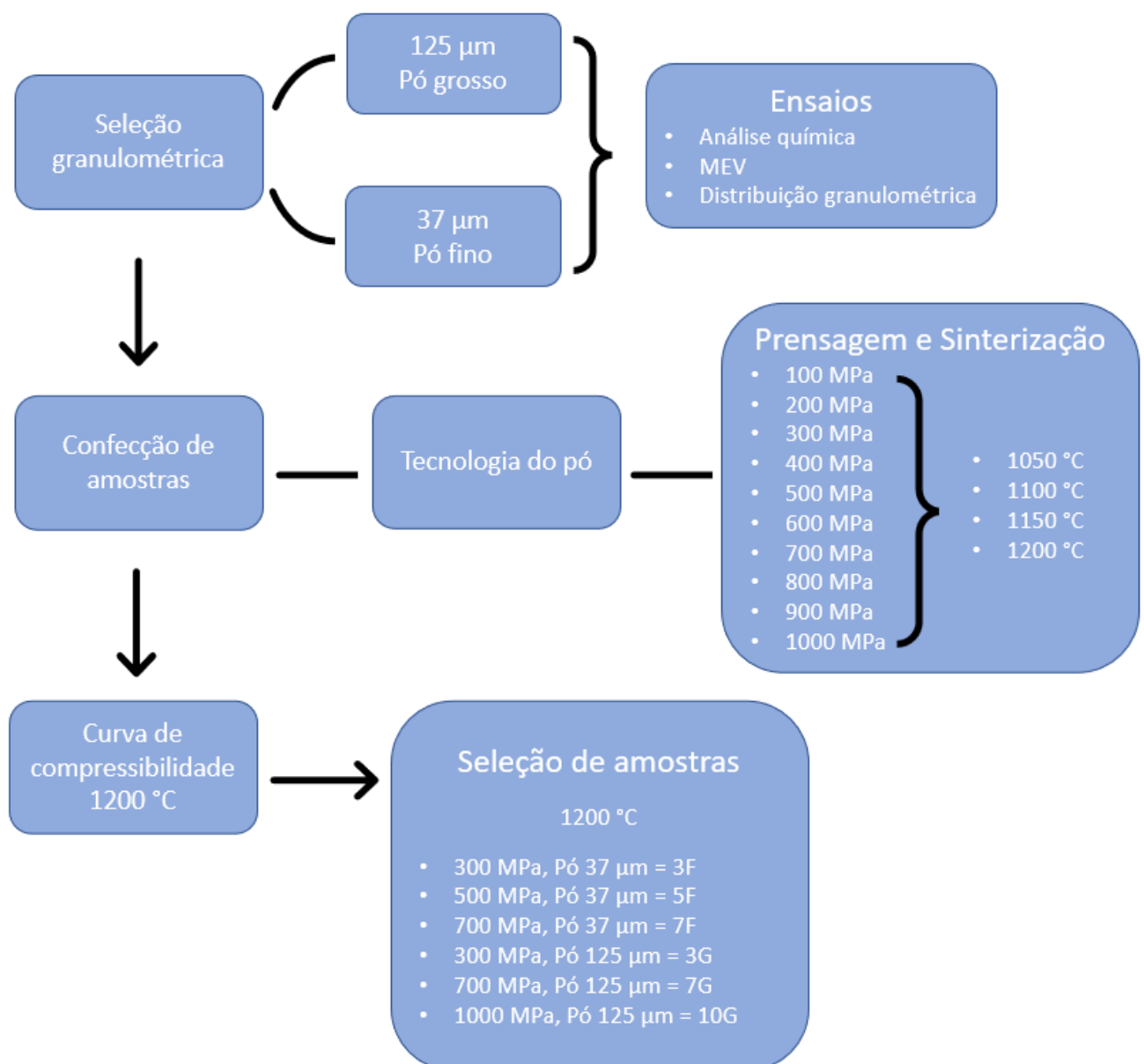
Cavalcante, Ferreira e Yadava (2008) realizaram pesquisas para incorporar o resíduo da louça cerâmica na produção de revestimentos com o objetivo de minimizar o impacto do retorno destes resíduos para o meio ambiente e reduzir o custo de produção. Foram analisados: retração linear, absorção de água, tensão de ruptura à flexão cor de queima e análise química. Os resultados demonstraram potencial de aplicação das massas para uso na fabricação de revestimentos.

Asif e Zhang (2021), assim como He *et al.* (2019), descrevem os resultados da utilização de membranas cerâmicas no tratamento de efluentes. Em comparação com as membranas poliméricas, as membranas cerâmicas apresentam maior eficiência de limpeza, maior remoção de poluentes, maior fluxo e menor incrustação. A pesquisa ainda traz o viés da necessidade de pesquisas que desenvolvam membranas cerâmicas a baixo custo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O conhecimento do comportamento dos resíduos e suas partículas é importante para reincorporação adequada em outros processos assim como para o desenvolvimento de novos produtos. Diversos fatores devem ser considerados, dentre esses: composição química, tamanho e distribuição de partículas, homogeneidade e curvas de compactação. Na Figura 12 é apresentado o resumo esquemático da caracterização e seleção das amostras.

Figura 12 - Caracterização e seleção de amostras



Fonte: A autora, 2021

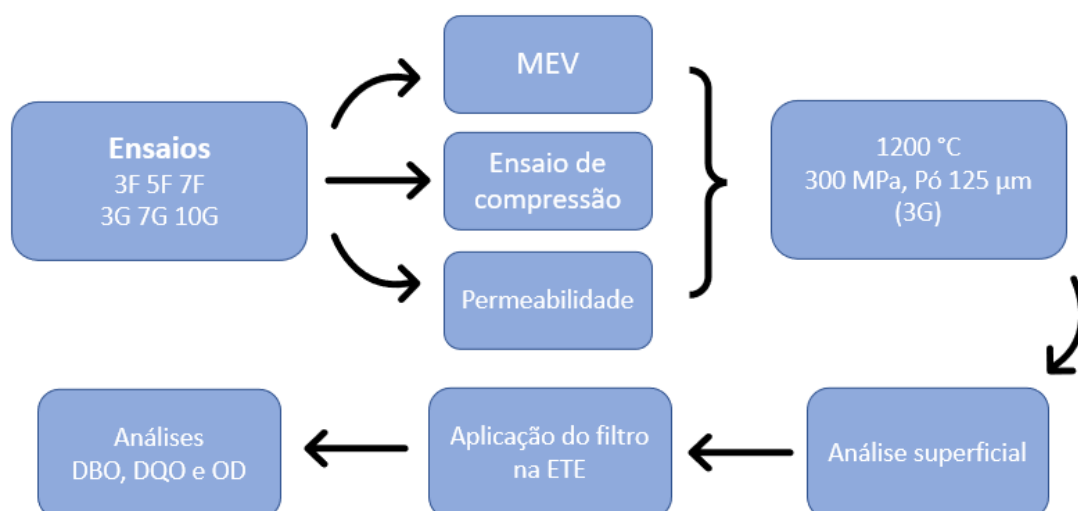
Na primeira etapa realizou-se a análise química do pitcher para verificação dos seus elementos, na sequência ocorreu a seleção granulométrica através de peneiras com o objetivo de identificar a granulometria mais adequada para compactação, onde, além de reter a maior quantidade de grãos do pitcher, também houvesse a maior concentração de grãos homogêneos. Foi utilizada a seguinte sequência de peneiras: 1000 μm , 707 μm , 595 μm , 125 μm e 37 μm , cujos valores em micrômetros representam o tamanho das suas aberturas.

Com a seleção dos grãos retidos nas peneiras 125 e 37 μm , foi realizada a prensagem de 40 amostras para serem sinterizadas em cada uma das temperaturas indicadas na Figura 12. Para a escolha destas granulometrias, foi utilizado o critério de quantidade de grão retidos, com o intuito de utilizar o máximo possível do resíduo e a diversidade dos grãos, ou seja, testar uma granulometria mais fina e outra com grãos mais grosseiros. Após esta etapa analisou-se as amostras mais adequadas para o filtro de adesão, onde foram selecionadas seis tipos de amostras.

Para facilitar a leitura e entendimento nomeou-se as amostras da seguinte maneira: A granulometria de 37 μm originou as amostras desta granulometria mais fina, por isso o F. Já a granulometria de 125 μm que possui grãos de maior diâmetro e densidade, ou seja, mais grosso, originou as amostras com o G. O número que segue na frente é referente à compressão, por exemplo, a amostra 3G foi confeccionada com o pó de granulometria 125 μm com compactação 300 MPa.

A Figura 13 apresenta os ensaios realizados nos seis tipos de amostras selecionadas 3F, 5F, 7F, 3G, 7G, 10G sinterizadas à 1200 °C.

Figura 13 - Análise e aplicação do filtro



Fonte: A autora, 2021

Após a realização dos ensaios de MEV, compressão e permeabilidade, foi selecionada a amostra mais adequada para confecção do filtro, 3G, ou seja, confeccionada com compressão de 300 MPa à 1200 °C com a granulometria de 125 µm. Foram confeccionadas 100 amostras deste tipo, além da construção do protótipo para acomodar as amostras. Após essa etapa o protótipo com as amostras foi encaminhado para aplicação na ETE. Para validação final, foi verificado o DBO, DQO e OD do efluente.

3.1. CARACTERIZAÇÃO DO PITCHER

O pó de louça cerâmica foi obtido através de um britador que processa peças inteiras, com defeito, gerando partículas com tamanhos diversos de no máximo 10mm. Na Figura 14 a) pode-se verificar o britador e a rampa na qual as peças com defeitos são elevadas até a moagem, já a Figura 14 b) apresenta o pó cerâmico gerado pelo britador.

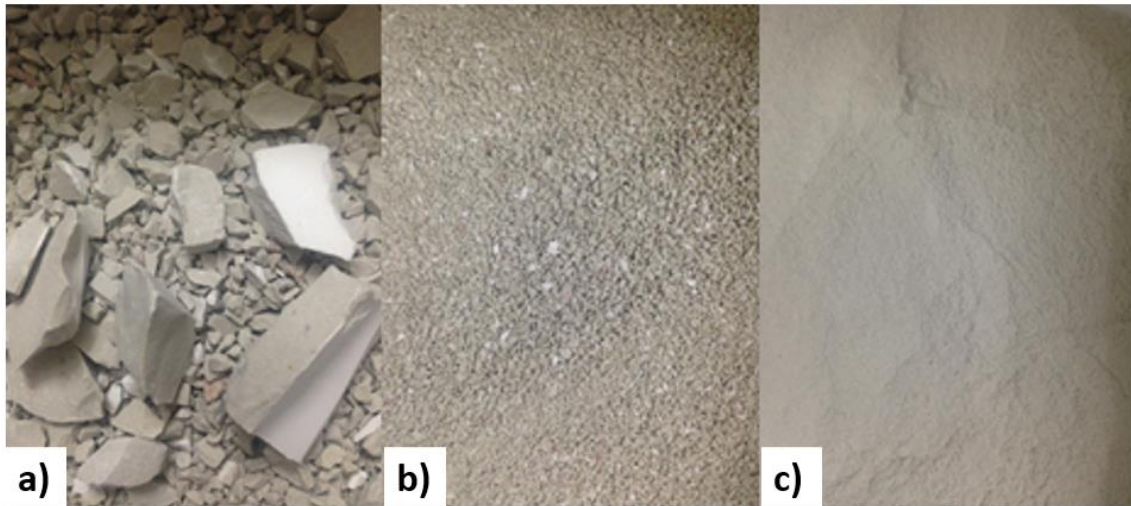
Figura 14 – Produção do pitcher a) Britador; b) Pó cerâmico obtido após o britador



Fonte: A autora, 2017

Para confecção das amostras o pitcher passou por um processo de seleção de granulometria, foi peneirado cerca de 20 Kg utilizando a seguinte sequência de peneiras: 1000 µm, 707 µm, 595 µm, 125 µm e 37 µm; sendo que cerca de 70% desse resíduo ficou retido nas peneiras de 125 e 37 µm. Somente as granulometrias 125 e 37 µm foram utilizadas na avaliação. Na Figura 15 pode-se ver os pós obtidos após esse processo de peneiramento.

Figura 15 - Pitcher em diferentes granulometrias: a) Resíduo de louça cerâmica após o processo de britagem; b) Pó obtido após o peneiramento em 125 μm ; c) Pó obtido após o peneiramento em 37 μm



Fonte: A autora, 2017

A Figura 15 apresenta os diferentes tamanhos de partículas encontradas em uma mesma amostra de pitcher, ressaltando a importância da avaliação e seleção granulométrica. Na Figura 15 a) é apresentado o resíduo de louça cerâmica após o processo de britagem, na Figura 15 b) está o pó obtido após o peneiramento em 125 μm , enquanto a Figura 15 c) contém o pó obtido após o peneiramento em 37 μm .

A distribuição granulométrica foi determinada no LAPROM – Laboratório de Processamento Mineral – UFRGS na máquina CILAS 1064 utilizando difração da luz laser que é inversamente proporcional ao tamanho da partícula, resultando a distribuição de tamanho de partículas.

Será realizado um ensaio de lixiviação, conforme a Norma Técnica ABNT NBR 10005:2004 (ABNT, 2004b), para identificar se existe concentração significativa de substâncias ou elementos que conferem periculosidade ao resíduo e um ensaio de solubilização, conforme a Norma Técnica ABNT NBR 10006:2004 (ABNT, 2004c), para verificação da diluição das substâncias contidas no resíduo.

A avaliação da corrosividade será realizada para identificar o nível de pH e sua classificação conforme o item 4.2.1.2 da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

3.2. ANÁLISE QUÍMICA

Na análise química foram utilizadas duas técnicas: difração de raios-x e espectrometria por fluorescência de raios-X.

O ensaio de difração de raios-X foi utilizado para determinar as fases presentes no pó e nas superfícies revestidas através do difratômetro GE Seifert Charon XRDM com radiação $\text{CrK}\alpha$ do Laboratório de Difractometria de Raios X da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Este equipamento possui detector linear de 19º modelo Spectris Meteor 1D e colimador de 2mm. As medições foram realizadas para ângulos de 2θ que variaram de 35 a 166º, com passo de 0,02º e tempo de medição por passo de 200 segundos. O tratamento e indexação dos dados foram realizados utilizando o software Analyze®, comparando os resultados com cartas cristalográficas do PDF2- ICDD – *International Centre for Diffraction Data*.

Na técnica de espectrometria por fluorescência de raio-X, obtidos a partir de análise quantitativa realizada através da técnica em amostra fundida com curva de calibração a partir de padrões de rocha, já que foi o padrão mais similar ao pitcher disponível no laboratório.

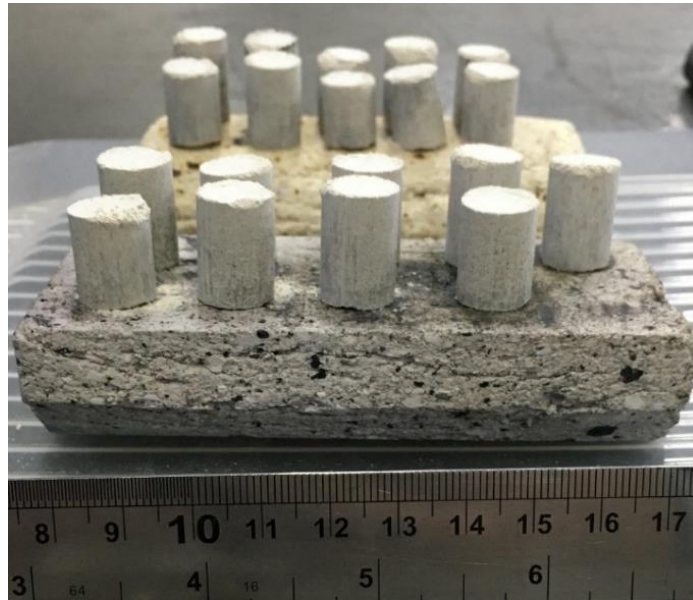
3.3. CONFECÇÃO DE AMOSTRAS

Com o uso de balança analítica e misturador manual, realizou-se a homogeneização do pó de pitcher e cerca de 3% de estearato de zinco, utilizado como lubrificante. Foram confeccionadas 10 amostras de granulometria 37 μm e 10 amostras de granulometria 125 μm . Para a prensagem foi utilizada uma matriz cilíndrica de aço temperado, em uma prensa hidráulica com capacidade máxima de 15 toneladas. O ferramental de prensagem é uma matriz e seus respectivos punções que são apresentados no Anexo A.

Na

Figura 16, pode-se visualizar as amostras à verde, ou seja, após a prensagem e antes da sinterização. São amostras de pitcher que foram compactadas na prensa manual, apresentam extrema fragilidade, e logo após a confecção são encaminhadas ao forno tubular para que ocorra a união das partículas através da sinterização.

Figura 16 - Amostras à verde



Fonte: A autora, 2018

3.4. SINTERIZAÇÃO

A sinterização foi realizada em forno tubular elétrico de resistência de carboneto de silício, Controlador Novus N1200 no Instituto Federal Sul-rio-grandense do campus de Sapucaia do Sul, com controle eletrônico, precisão de ± 1 °C, na temperatura de trabalho. A taxa de aquecimento foi de 10 °C/min e os patamares térmicos de 1050 °C, 1100 °C, 1150 °C e 1200 °C. O ciclo de sinterização proposto constituiu de:

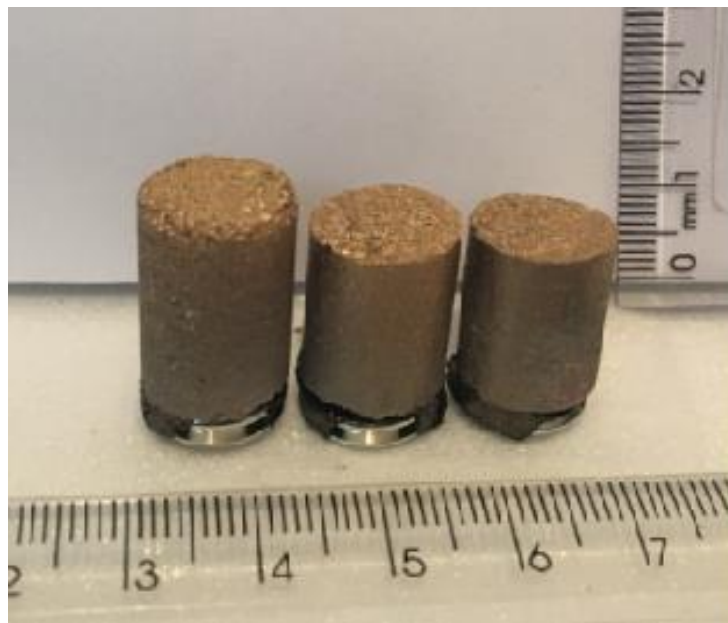
- Aquecimento até 580 °C com uma taxa de 10 °C/min, mantendo constante durante 20 minutos. Nessa etapa ocorre a queima do lubrificante;
- Aquecimento até o patamar de cada respectiva sinterização (1050 °C, 1100 °C, 1150 °C e 1200 °C), com uma taxa de 10 °C/min e temperatura de sinterização constante durante 60 minutos;
- Resfriamento dentro do forno com uma taxa média de 10 °C/min.

No total, foram sinterizadas 40 amostras: 10 amostras com o patamar de 1050 °C, 10 amostras com o patamar de 1100 °C, 10 amostras com o patamar de 1150 °C e 10 amostras com o patamar de 1200 °C. Os patamares foram escolhidos com base na

literatura: a sinterização é geralmente realizada a temperaturas entre 70% e 90% do ponto de fusão, sendo realizado sempre abaixo do ponto de fusão (GROOVER, 2017).

A sinterização ocorre no estado sólido pela movimentação de átomos para formar as ligações entre as partículas. Na Figura 17 pode-se visualizar as amostras após a sinterização à 1200 °C, essas amostras apresentam diferentes tamanhos devido aos diferentes níveis de compactação, a cor dourada é referente à metalização realizada para o ensaio de MEV.

Figura 17 - Amostras sinterizadas a 1200 °C



Fonte: A autora, 2018

3.5. CURVA DE COMPRESSIBILIDADE

A curva de compressibilidade é uma etapa importante do estudo, pois tem como finalidade analisar quais as faixas de pressões possíveis de se trabalhar com o material, assim como estudar qual a influência de diferentes pressões de prensagem nas propriedades do produto sinterizado.

Definiu-se a pressão de prensagem através da curva de compressibilidade, construída com base na norma ASTM B331-16 (ASTM INTERNATIONAL, 2016), a qual define que a compressibilidade é a capacidade de certa quantidade de pó densificar sob a ação de uma pressão de prensagem. Para definir a curva, aplicam-se várias pressões de prensagem, nos quais resultaram diferentes densidades. Nesta pesquisa, foram aplicadas as seguintes pressões de prensagem: 100 MPa, 200 MPa, 300 MPa, 400 MPa, 500 MPa, 600 MPa, 700 MPa, 800 MPa, 900 MPa e 1000 MPa. As pressões

escolhidas foram baseadas em teste experimental onde as amostras confeccionadas com menos de 100 MPa demonstraram falta de compactação.

A densidade à verde das amostras compactadas foi calculada com base na mensuração anterior à sinterização e a massa do pó utilizada para a compactação. Aplicou-se a razão entre a massa medida na balança analítica e o volume calculado dos corpos de prova, e em seguida foram expostos os valores em gráficos, relacionando a densidade e a pressão envolvida nos testes, com a finalidade de adquirir uma melhor análise e compreensão da compressibilidade do pitcher. Para a densidade do pó de pitcher foi utilizado o multiplicômetro do LACER – Laboratório de Cerâmicos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul com 4 gramas de pitcher em 60 segundos.

3.6. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

O princípio do microscópio eletrônico de varredura (MEV) consiste em usar um feixe de elétrons de pequeno diâmetro para explorar a superfície de uma amostra. A incidência do feixe de elétrons irá interagir com a amostra, resultando no sinal de imagem. É utilizado um filamento de tungstênio (W) aquecido, operando numa faixa de tensões de 1 a 50 *kV*. O feixe interagindo com a amostra produz elétrons e fótons que podem ser coletados por detectores adequados e convertidos em um sinal de vídeo (DEDAVID, GOMES e MACHADO, 2007). Quando um feixe primário incide na amostra, parte dos elétrons difundem-se e constituem um volume de interação cuja forma depende principalmente da tensão de aceleração e do número atômico da amostra. Neste volume, os elétrons e as ondas eletromagnéticas produzidas são utilizados para formar imagens ou efetuar análises físico-químicas (DEDAVID, GOMES e MACHADO, 2007).

A imagem formada a partir do sinal captado na varredura eletrônica de uma superfície pode apresentar diferentes características, uma vez que a imagem resulta da amplificação de um sinal obtido de uma interação entre o feixe eletrônico e o material da amostra. Diferentes sinais podem ser emitidos pela amostra. Dentre os sinais emitidos, os mais utilizados são originários de elétrons secundários ou retroespalhados. Os elétrons secundários no MEV resultam de uma interação do feixe eletrônico com o material da amostra. O contraste na imagem é dado pelo relevo da amostra (DEDAVID, GOMES e MACHADO, 2007). O microscópio eletrônico de varredura foi utilizado para analisar a morfologia da superfície sinterizada das amostras bem como do pó de pitcher.

As amostras sinterizadas que apresentaram os melhores resultados nas propriedades físicas e mecânicas foram observadas e analisadas em MEV, o equipamento utilizado foi o Microscópio Eletrônico de Varredura Zeiss EVO MA 10 do Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER). Para tal procedimento, as amostras foram cortadas, lixadas e polidas; com lixas na granulometria de 100, 400, 600 e 1000; após o polimento as amostras sinterizadas foram recobertas por ouro para comparação e avaliação de imagens, análise do nível de porosidade, homogeneidade e microestrutura no geral. Para verificar os efeitos nas amostras compactadas em diferentes pressões, foram utilizadas amostras com pressões de 300 MPa, 700 MPa e 1000 MPa.

O pitcher, em sua granulometria inicial, antes da prensagem e sinterização, foi avaliado através do MEV com o auxílio de *stubs* (suporte metálico de amostras).

3.7. PERMEABILIDADE DO SINTERIZADO

A análise foi realizada em 3 amostras sinterizadas no patamar de 1200 °C com pressões de prensagem entre 300 MPa e 1000 MPa. As amostras comprimidas com pressões abaixo de 250 MPa, não possuíam condições para serem comparadas uma vez que ambas ultrapassaram o limite de compressibilidade, causando assim diferenças nos dimensionais e massas dessas amostras, ou seja, não demonstraram um resultado satisfatório na sinterização. Cada amostra foi suspensa para que fosse mensurado o tempo que levaria para escoar 20 ml de água com o auxílio da gravidade através das amostras de diferentes pressões de prensagem.

Foi usinado, em material polimérico, um dispositivo para fixação de peças para a solicitação de escoamento forçado de 20 ml de água para determinar se existiria a ultrapassagem do fluido e mensurar o tempo necessário para que o fluido atravessasse a amostra. A Figura 18 apresenta o dispositivo acoplado a um becker de vidro e com uma amostra fixada no seu interior para a execução do ensaio de permeabilidade:

Figura 18 - Dispositivo para ensaio de permeabilidade



Fonte: A autora, 2019

O dispositivo foi desenvolvido com um design simples, porém com a eficiência necessária: suporte para amostras sinterizadas e um pequeno escoamento interno para facilitar a solicitação de passagem de água, trazendo acessibilidade em termos de custos e simplicidade na aplicação do ensaio de permeabilidade, de acordo com a ISO 4022:2018 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018).

3.8. ENSAIO DE COMPRESSÃO

O ensaio de compressão consiste na aplicação de carga de compressão uniaxial crescente nas peças de geometria cilíndrica. Foi utilizado um lubrificante a base de grafite na área de contato entre os corpos de prova e dispositivos do próprio equipamento para amenizar os efeitos de atrito e flambagem. A deformação linear, obtida pela medida da distância entre as placas que comprimem o corpo e a carga de compressão, consiste na resposta do ensaio.

O equipamento utilizado para a realização dos ensaios foi uma máquina universal de ensaios EMIC® do Instituto SENAI de Inovação (CETEMP). Este equipamento possui um sistema de indicação e registro das forças aplicadas durante o ensaio, é do tipo eletromecânico, que permite uma gama maior de velocidade e deslocamento dos

cabeçotes. Os experimentos foram conduzidos com taxa de carregamento de 5mm/min em um ambiente com temperatura de 23 °C. (± 1). A Tabela 2 apresenta a descrição da máquina utilizada.

Tabela 2 - Características técnicas do equipamento

Equipamento	EMIC DL200
Capacidade	2000 (Kgf) / 20 kN
Acionamento	Eletromecânico
Faixa de velocidade	5 mm/min

3.9. APLICAÇÃO DO FILTRO: OPERAÇÃO DO PROTÓTIPO

O protótipo do filtro biológico percolador com meio suporte de pitcher foi aplicado visando um incremento na remoção de DQO no efluente final de uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) localizada no Vale do Sinos no Rio Grande do Sul.

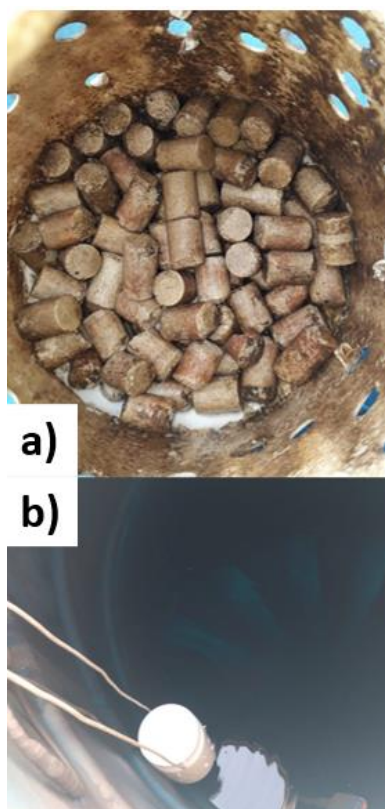
O dispositivo foi construído em nível de laboratório, ou seja, em escala reduzida afim de simular um filtro biológico percolador com meio suporte de pitcher. Optou-se por produzi-lo a partir de um tubo de PVC, que oferece rigidez suficiente para suportar o peso das amostras e da carga hidráulica, além de ser leve e de fácil manuseio. A Tabela 3 traz as dimensões utilizadas na construção do protótipo, adaptado de Thiesen, 2018.

Tabela 3 - Detalhes Construtivos do Protótipo do Filtro Biológico Percolador

Altura Total	0,35 m
Diâmetro	0,050 m
Área Superficial	0,0020 m ²
Profundidade do Enchimento	0,15 m
Volume do Enchimento	0,002 m ³
Altura do Sistema de Distribuição	0,08 m
Profundidade do Sistema de Drenagem e Ventilação	0,20 m
Vazão Média	0,0084 m ³ /dia

A Figura 19 a) apresenta a parte interna com o meio suporte de pitcher e na Figura 19 b) pode-se visualizar o protótipo em contato com o efluente.

Figura 19 - Protótipo de Filtro Biológico Percolador



Fonte: A autora, 2020

O protótipo foi construído em camadas, a primeira abertura é a entrada do efluente, na primeira conexão é onde fica localizado o meio suporte, ou seja, as amostras de pitcher sinterizadas. Nesta conexão há um suporte com furos para sustentar as amostras e ainda assim manter o fluxo do fluído. Na parte inferior o dispositivo apresenta pequenos orifícios para passagem de ar e uma torneira para coleta do efluente tratado. O dispositivo foi finalizado com um fundo falso para remoção e drenagem dos sedimentos.

O funcionamento do protótipo inicia na entrada superior através de um fluxo descendente, onde ocorre o contato do efluente com o biofilme aderido, promovendo a atividade microbiológica de remoção de matéria orgânica. Durante essa etapa, existe uma vazão de 0,35 L/h operando durante as 24 horas do dia, sendo realizadas coletas semanais para verificação do DBO, DQO e OD, assim como, limpezas para remoção dos sedimentos durante as 9 semanas do experimento. Após esta etapa o efluente é coletado através da torneira.

Para fins de comparação foram também coletadas amostras de esgoto bruto e do efluente sem a passagem pelo filtro biológico, nesta mesma Estação de Tratamento de

Efluentes. Para o desenvolvimento da camada de biofilme, as amostras cerâmicas foram deixadas em contato com o efluente por 30 dias antes da primeira coleta.

3.10. PARÂMETROS ANALISADOS NO EFLUENTE PARA VALIDAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO FILTRO

Para determinação da eficiência das amostras, foram analisados os parâmetros de DQO – Demanda Química de Oxigênio, DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio e OD – Oxigênio Dissolvido. Estes parâmetros foram selecionados seguindo as recomendações do *Standard methods for the examination of water and wastewater* (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION & WATER ENVIRONMENT FEDERATION, 2012) que é uma publicação que regulamenta e indica métodos e processos para a análise de águas e águas residuárias. Estas metodologias são aceitas e utilizadas por todos os laboratórios nacionais e internacionais com o intuito de que as análises possam ser realizadas e comparadas.

A determinação da DQO é um dos principais parâmetros utilizados para verificação da matéria orgânica em amostras de efluentes líquidos. É definida como a quantidade de um oxidante específico que reage com determinada amostra em condições controladas. Nesta pesquisa o DQO foi determinado pelo método de dicromato de potássio, ou seja, pelo residual do agente oxidante após a sua digestão.

A DBO considera somente a demanda da parte orgânica. A rapidez das respostas de DQO é uma grande vantagem com relação à DBO; método do dicromato de potássio leva duas horas para determinar a DQO do material, contra 5 dias da análise de DBO no método utilizado.

A OD é o indicador da concentração de oxigênio dissolvido na água em mg L^{-1} . O oxigênio é um gás pouco solúvel em água e a sua solubilidade depende da pressão (altitude), temperatura e sais dissolvidos, normalmente a concentração de saturação está em torno de 8 mg L^{-1} a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ entre 0 e 1.000 m de altitude. Foi realizada a medição no momento da coleta com um multimedidor.

Os parâmetros de lançamento são determinados pela resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente - CONSEMA 128/2006 que dispõe sobre a fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem seus

efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul, conforme Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Parâmetros de lançamento determinados pela resolução do CONSEMA 128/2006 (Rio Grande do Sul, 2006)

Faixa de vazão (m³/d)	DBO (mg/L)	DQO (mg O₂/L)
Q < 20	180	400
20 ≤ Q < 100	150	360
100 ≤ Q < 200	120	330
200 ≤ Q < 500	100	300
500 ≤ Q < 1.000	80	260
1.000 ≤ Q < 2.000	70	200
2.000 ≤ Q < 10.000	60	180
10.000 ≤ Q	40	150

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados de cada etapa do programa experimental proposto.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DO PITCHER

Nas indústrias de fabricação de louça sanitária, as peças com defeito são segregadas, conforme a Figura 20. Após essa segregação as peças são encaminhadas a um britador onde é produzido o pó de caco de louça, chamado pitcher.

Figura 20 - Peças de louça cerâmica sanitária com defeitos.



Fonte: A autora, 2017

Para caracterização, o pitcher foi peneirado utilizando a seguinte sequência de peneiras: 1000 μm , 707 μm , 595 μm , 125 μm e 37 μm . Neste trabalho, para caracterização, foram utilizados apenas os pós das peneiras de 125 μm e 37 μm .

Na Figura 21 tem-se uma análise da morfologia obtida pela técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura do pitcher retido da peneira de 125 μm . O pitcher, nessa granulometria, possui grãos com formato irregulares, prismáticos e pontiagudos com tamanho aproximado 100 μm na longitudinal e 50 μm .

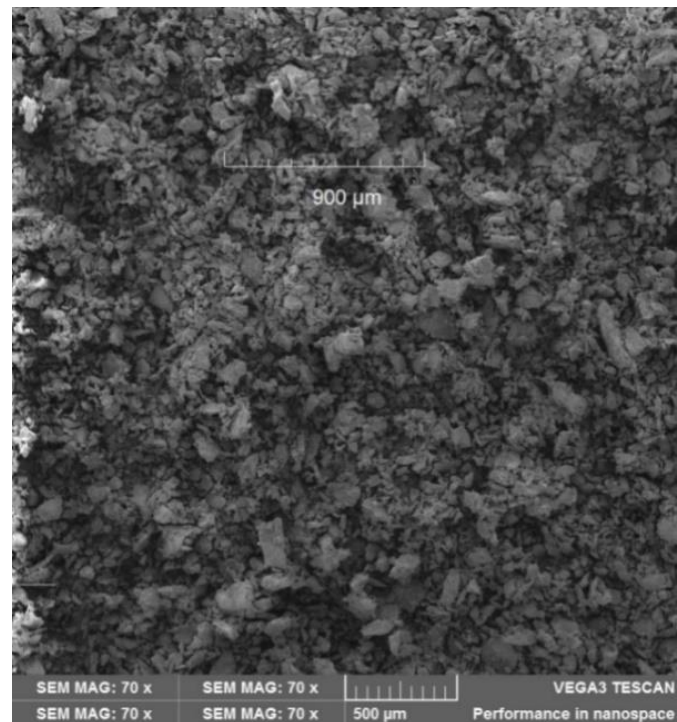
Figura 21 - Amostra de pitcher retirada da peneira de 125 μm , analisada via MEV



Fonte: A autora, 2017

Na Figura 22 percebe-se uma homogeneidade nos grãos se comparado com a Figura 21, com formatos arredondados, esféricos e sem cantos vivos na sua maioria.

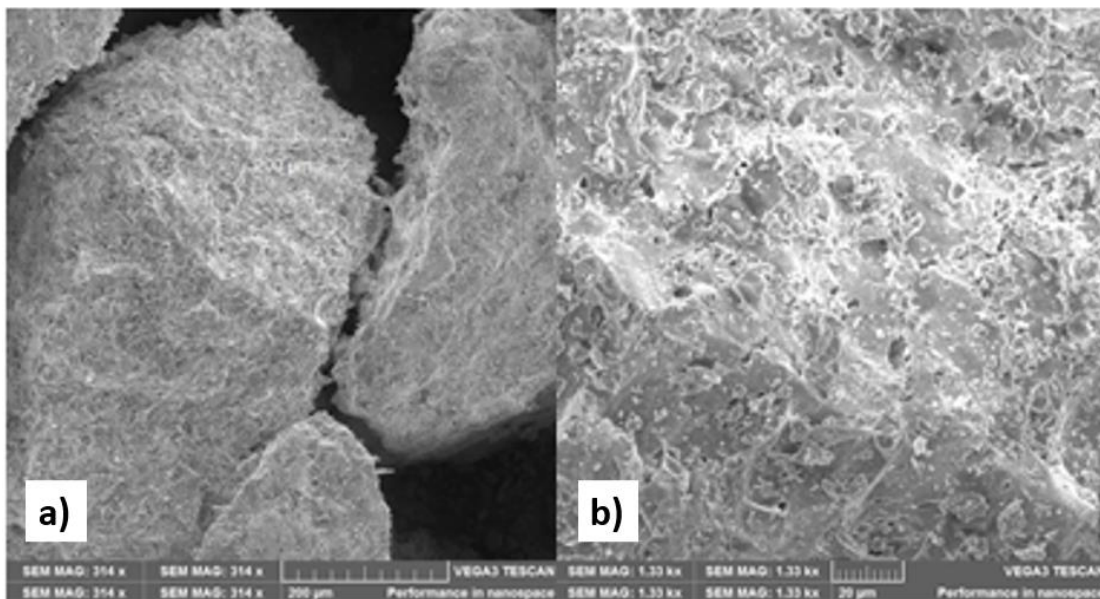
Figura 22 - Amostra de pitcher retirada da peneira de 37 μm , analisada via MEV



Fonte: A autora, 2017

Em um aumento de magnitude de 354 e 1330 vezes, respectivamente, na amostra retirada da peneira de 125 μm pode-se visualizar os grãos de pitcher com tamanhos de partícula espaçadas variando entre 400 μm , conforme mostra a Figura 23 a). A Figura 23 b) apresenta a morfologia da partícula de pitcher de 400 μm com uma estrutura de partícula do tipo bloco irregular com porosidade acentuada e partículas espaçadas.

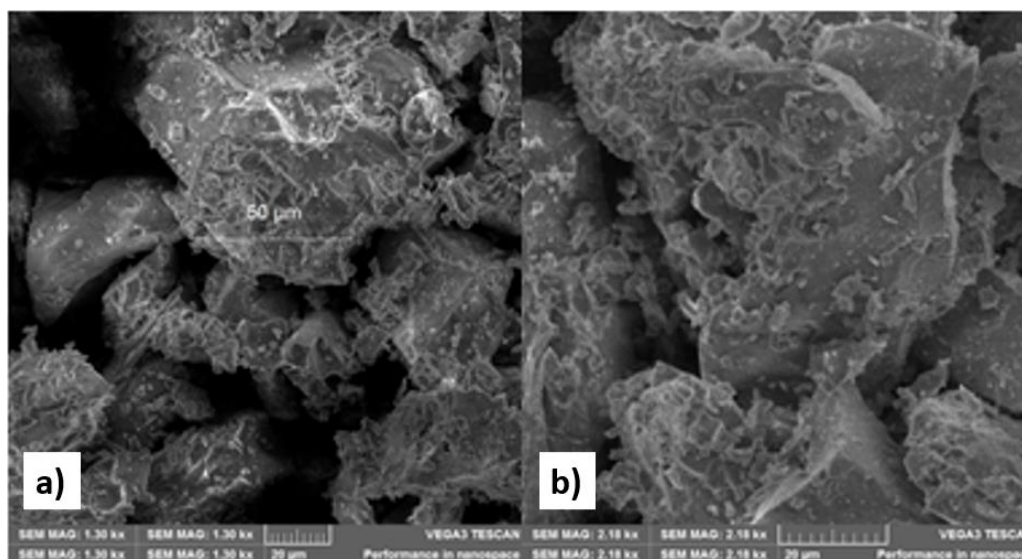
Figura 23 - Amostra de pitcher (peneira 125 μm): a) aumento de 354 vezes b) aumento de 1330 vezes



Fonte: A autora, 2017

Já o pitcher retirado da peneira de 37 μm apresentou um grão mais denso e bem distribuído com partículas de tamanho entre 50 μm , aproximadamente, conforme mostra a Figura 24 a) e b). Todas essas características, verificadas no MEV, têm grande influência na troca de calor entre as partículas, pois na tecnologia do pó é fundamental a área de troca de calor e capacidade de absorver a energia térmica na etapa de sinterização. A morfologia dos pós é determinante também na maneira que as partículas ao serem compactadas, se deformarão e se adaptarão à matriz, distribuindo homogeneamente as fases duras, formando assim a estrutura da peça.

Figura 24 - Amostra de pitcher (peneira 37 μm): a) aumento de 1330 vezes b) aumento de 2180 vezes



Fonte: A autora, 2017

O resíduo pitcher não apresentou concentração significativa de substâncias ou elementos que conferem periculosidade aos resíduos, listados no Anexo C da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004 (ABNT, 2004a). Abaixo, seguem listados os resultados do ensaio de lixiviação na Tabela 5. Esta análise verificou a capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo, por meio de dissolução no meio extrator. Foi diagnosticado que o pitcher não se transfere para o meio natural, ou seja, demonstrou estabilidade química.

Tabela 5 - Resultado do ensaio de lixiviação conforme a NBR 10005 : 2004

Parâmetros	Unidades	Resultados da Amostra	Limites Máximos (NBR-10.004)
<i>Inorgânicos</i>			
Arsênio	(mg/L)	ND*	1,0
Bário	(mg/L)	0,5	70,0
Cádmio	(mg/L)	ND*	0,5
Chumbo	(mg/L)	ND*	1,0
Cromo Total	(mg/L)	ND*	5,0
Mercúrio	(mg/L)	ND*	0,1
Fluoreto	(mg/L)	ND*	150,0
Prata	(mg/L)	ND*	5,0
Selênio	(mg/L)	ND*	1,0

* ND = não detectado

Fonte: ABNT, 2004b

Na Tabela 6 constam os resultados do ensaio de solubilização, que teve por objetivo a verificação da diluição das substâncias contidas no resíduo, por meio de lavagem em meio aquoso.

Tabela 6 - Resultado do ensaio de solubilização conforme a NBR 10006: 2004

Parâmetros	Unidades	Resultados da Amostra	Limites Máximos (NBR-10.004)
Fenóis Totais	(mg/L)	ND*	0,001
Mercúrio	(mg/L)	ND*	0,001
Arsênio	(mg/L)	ND*	0,01
Bário	(mg/L)	ND*	0,7
Cádmio	(mg/L)	ND*	0,005
Chumbo	(mg/L)	ND*	0,01
Cromo Total	(mg/L)	ND*	0,05
Alumínio	(mg/L)	2,51	0,2
Ferro	(mg/L)	0,34	0,3
Manganês	(mg/L)	ND*	0,1
Sódio	(mg/L)	7,8	200,0
Zinco	(mg/L)	ND*	5,0
Cobre	(mg/L)	ND*	2,0
Prata	(mg/L)	ND*	0,05
Selênio	(mg/L)	ND*	0,01
Cianeto	(mg/L)	ND*	0,07
Fluoreto	(mg/L)	ND*	1,5
Nitrato	(mg/L)	ND*	10,0
Cloreto	(mg/L)	3,0	250,0
Sulfato	(mg/L)	ND*	250,0
Surfactantes	(mg/L)	ND*	0,5

* ND = não detectado

Fonte: ABNT, 2004c

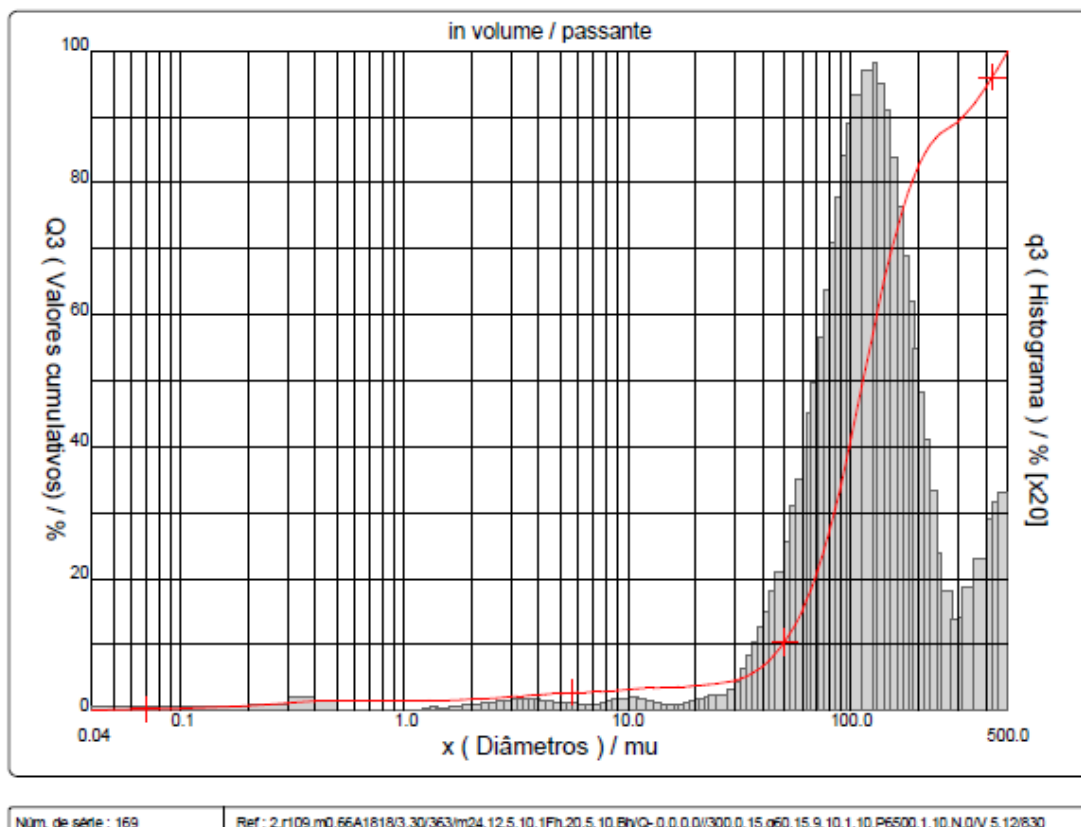
Segundo esses aspectos e utilizando o fluxograma de classificação de resíduos indicado pela norma, o pitcher se enquadra como Resíduo Sólido Não-Inerte Classe II A ultrapassando os limites máximos de alumínio e ferro.

A avaliação da corrosividade, realizada com a mistura da amostra de resíduo com água em uma proporção de 1:1, apresentou pH igual a 6,2, caracterizando ácido leve, ou seja, não se insere na faixa ácida que indica corrosividade (pH inferior a 2,0 ou superior a 12,5), conforme o item 4.2.1.2 da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

4.2. DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PITCHER

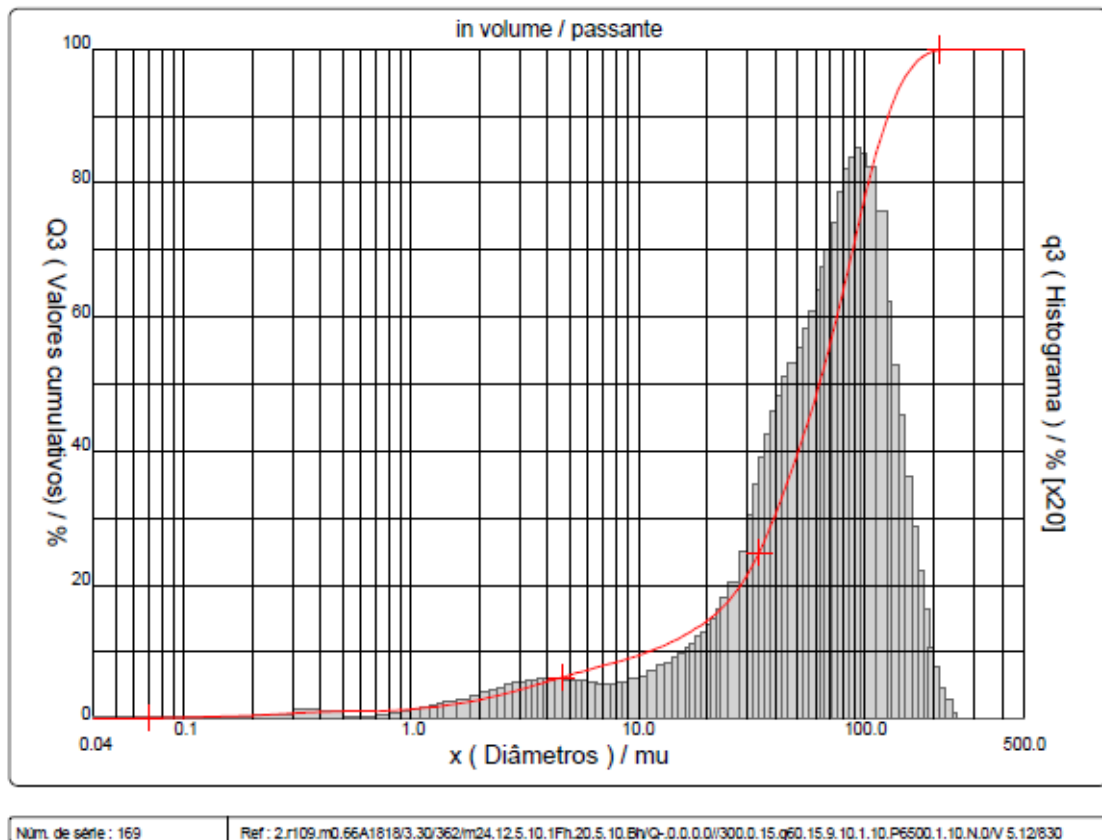
Os resultados da análise da peneira 125 μm podem ser visualizados na Figura 25. O diâmetro médio indicado pela análise é de 143 μm , e a distribuição é bimodal, sugerindo uma heterogeneidade de tamanho de partículas no conjunto amostral. O diâmetro das partículas maiores, estão em torno de 160 μm .

Figura 25 - Distribuição Granulométrica do pitcher 125 μm



Fonte: A autora, 2018

O mesmo método foi utilizado para realizar os testes no pitcher a 37 μm . Os resultados dessa análise podem ser visualizados na Figura 26. O diâmetro médio indicado pela análise é de 67 μm , e a distribuição é bimodal, sugerindo uma heterogeneidade de tamanho de partículas no conjunto amostral. O diâmetro das partículas maiores estão em torno de 100 μm .

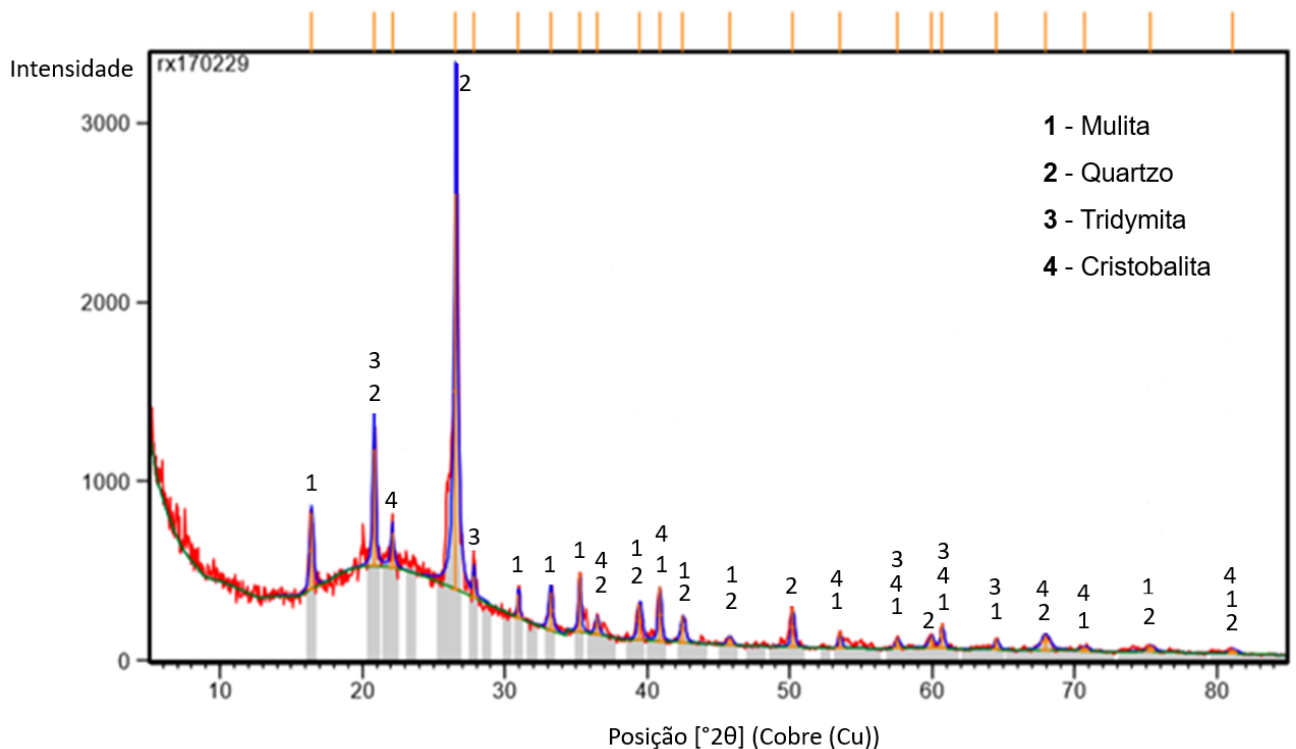
Figura 26 - Distribuição Granulométrica do pitcher 37 μm 

Fonte: A autora, 2018

4.3. ANÁLISE QUÍMICA

Para a interpretação dos picos máximos de difração de raios-x do pitcher, foram utilizadas as fichas cristalográficas do ICDD – *International Centre for Diffraction Data*. Observa-se a partir do difratograma da Figura 27 a presença de fase amorfa na amostra, caracterizada por uma elevação do ruído de fundo (background) a partir de aproximadamente $18^\circ 2\theta$ até pouco antes de $30^\circ 2\theta$ (halo amorfo). Destaca-se também a presença de polimorfos da sílica: quartzo, cristobalita e tridymita. A seguir, na Figura 27, é apresentado o difratograma e na sequência a sua interpretação:

Figura 27 - Resultado do difratograma



Fonte: A autora, 2018

As fases Identificadas foram as seguintes:

- Quartzo – SiO_2 – ficha 03-065-0466
- Mulita – $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ – ficha 01-079-1454
- Cristobalita – SiO_2 – ficha 01-082-1408
- Tridymita – SiO_2 – ficha 00-001-0378

O pitcher, conforme a Norma Técnica ABNT 10004:2004, é classificado como o resíduo não-inerte, a composição química obtida por Espectrometria de fluorescência de raios-X apresentou os resultados mostrados na Tabela 7. A louça sanitária é fabricada com massas constituídas basicamente de argilominerais (argila plástica e caulim), quartzo, feldspato, podendo incluir também rochas cerâmicas como granito, pegmatito e filito como fundentes (CALLISTER, 2016).

Na análise da composição química do pitcher aponta-se para a presença de quartzo; Melita; Cristobalita (de origem magmática) e Tridymita (também de origem magmática e de origem ácida). A presença, destes minerais, principalmente os últimos dois, podem pela sua característica de origem vulcânica justificar a temperatura de

1200°C e sua acidez, o favorecimento de estabelecimento da microfauna bacteriana; que, apesar da efetividade ter sido observada após 20h, dentro dos contextos biológicos, representa um tempo viável para a formação do biofilme.

Logo, o espectro obtido mostrou-se coerente com a literatura, demonstrando assim que o pitcher tem potencial de uso, possuindo ainda minerais reaproveitáveis, com pouca degradação.

Tabela 7 - Composição elementar do pitcher, em percentagem de massa dos óxidos principais

Padrão	Pitcher
SiO ₂	67,72
Al ₂ O ₂	22,87
TiO ₂	0,44
Fe ₂ O ₃	1,75
MnO	0,03
MgO	0,12
CaO	1,19
Na ₂ O	1,50
K ₂ O	2,73
P ₂ O ₅	0,03
LOI	0,28
Total	98,66

Um dos padrões encontrados no pitcher, com cerca de 67%, foi a sílica. A sílica é o principal material utilizado em técnicas de separação e purificação de substâncias, por conta tanto de sua maior disponibilidade comercial, quanto por suas diversificadas características e capacidade de adaptação: é inofensiva à saúde, inodora, insípida e quimicamente inerte, pode ser usada para adsorção de impurezas em líquidos e gases. É considerado um produto ecologicamente correto, favorecendo sua utilização em várias categorias industriais, inclusive em um filtro de adesão confeccionado com pitcher.

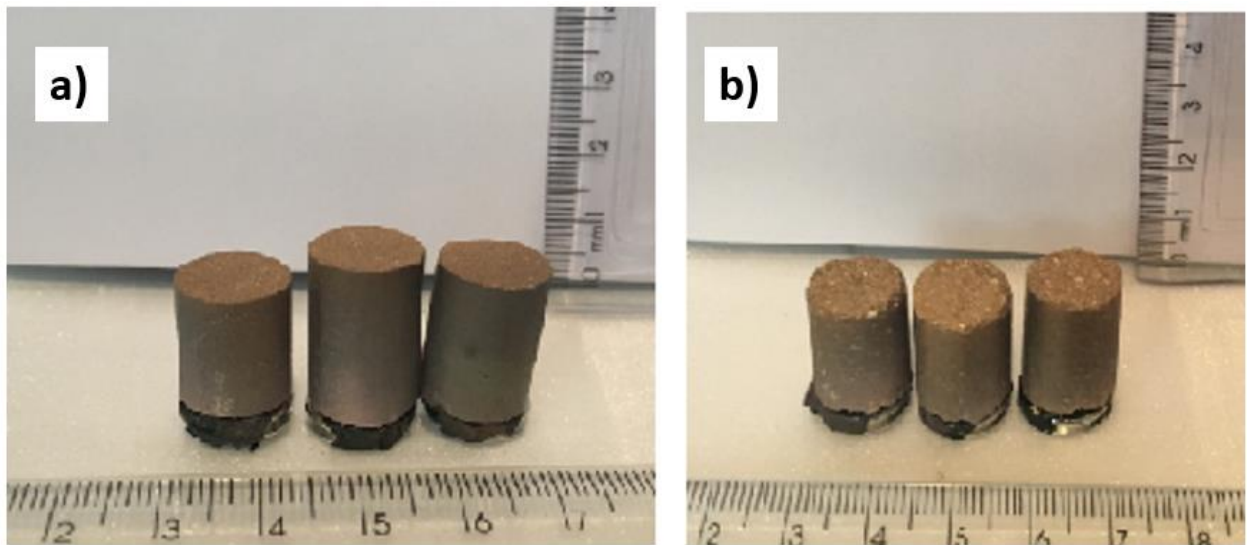
4.4. SINTERIZAÇÃO

Foram realizadas sinterizações em temperaturas de 1050 °C, 1100 °C, 1150 °C e 1200 °C, com taxa de aquecimento de 10 °C/min. Após o forno atingir o patamar térmico, manteve-se por 60 minutos, começando então o resfriamento em temperatura ambiente dentro do próprio forno desligado. As amostras sinterizadas entre 1050 °C e 1150 °C não tiveram uma sinterização satisfatória, o material encontrou-se pulverulento mesmo após o tratamento, o que caracterizou uma pré sinterização ao invés de uma

sinterização completa. Devido a este fato não houve o interesse em testar sua compressibilidade, permeabilidade e MEV. As amostras sinterizadas a 1200 °C obtiveram uma sinterização satisfatória, sendo então este patamar indicado como preferível em relação às temperaturas estudadas para a sinterização do pitcher nesta pesquisa.

Na Figura 28 pode-se visualizar as amostras após a sinterização à 1050 °C nas granulometrias obtidas com a seleção granulométrica de 37 μm e 125 μm :

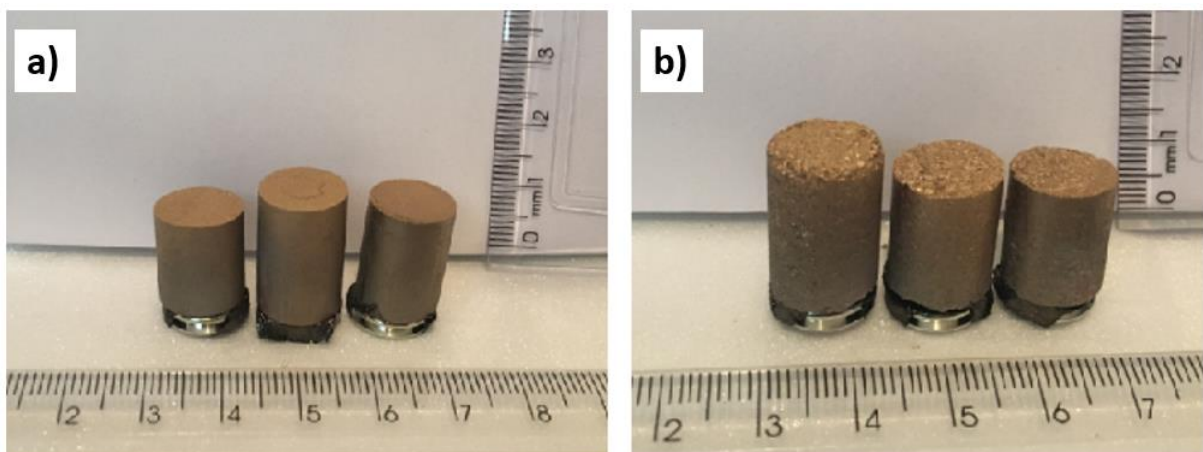
Figura 28 - Amostras sinterizadas a 1050 °C – a) 37 μm e b) 125 μm



Fonte: A autora, 2018

Na Figura 29 pode-se visualizar as amostras após a sinterização à 1100 °C nas granulometrias obtidas com a seleção granulométrica de 37 μm e 125 μm :

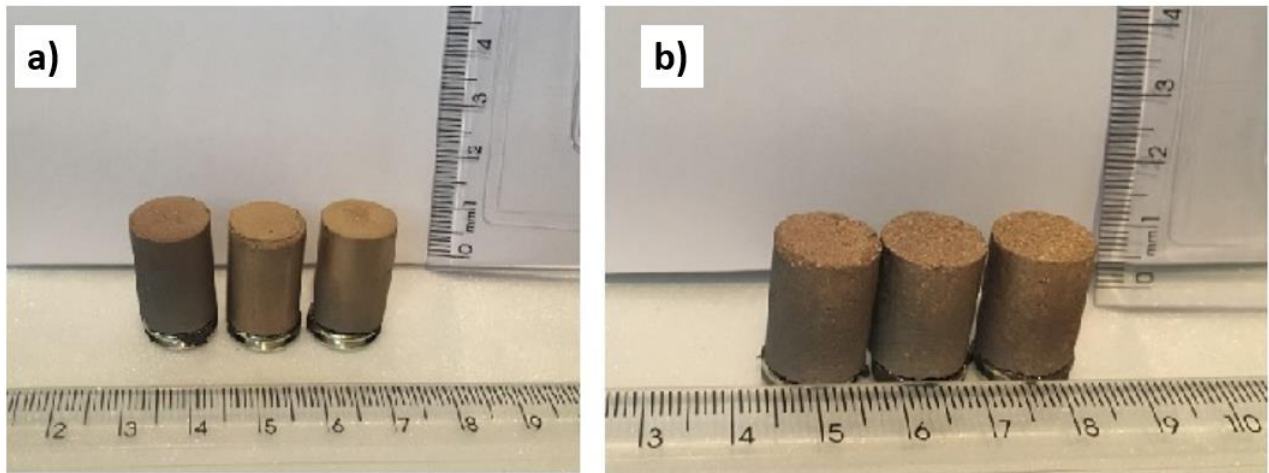
Figura 29 - Amostras sinterizadas a 1100 °C – a) 37 μm e b) 125 μm



Fonte: A autora, 2018

Na Figura 30 pode-se visualizar as amostras após a sinterização à 1150 °C nas granulometrias obtidas com a seleção granulométrica de 37 µm e 125 µm:

Figura 30 - Amostras sinterizadas a 1150 °C – a) 37 µm e b) 125 µm

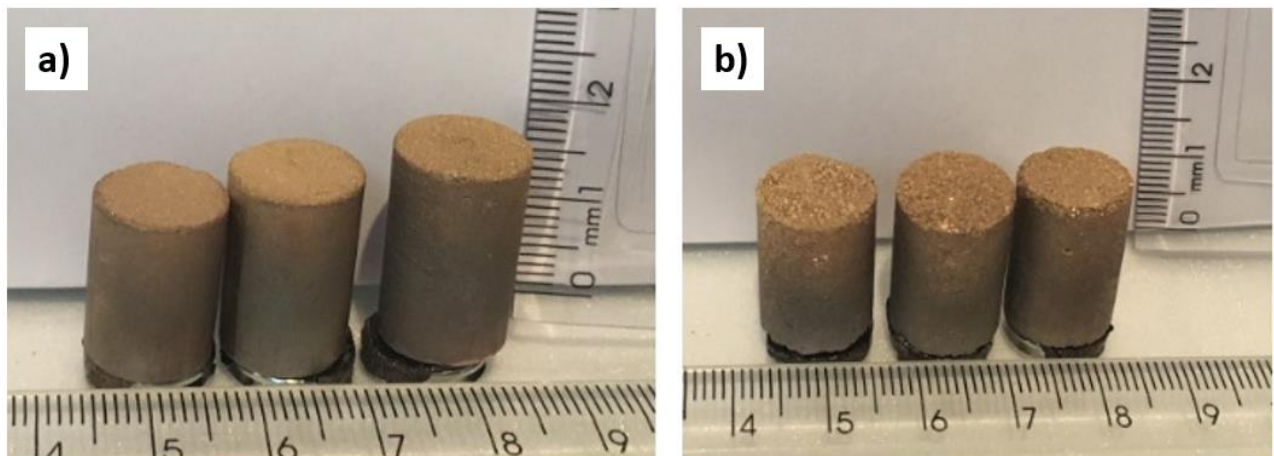


Fonte: A autora, 2018

As amostras sinterizadas entre 1050 °C e 1150 °C da Figura 28, Figura 29 e Figura 30 demonstraram esfarelamento e trincas, não se mostrando adequadas para o desenvolvimento de filtros.

Na Figura 31 pode-se visualizar as amostras após a sinterização à 1200 °C nas granulometrias obtidas com a seleção granulométrica de 37 µm e 125 µm:

Figura 31 - Amostras sinterizadas a 1200 °C – a) 37 µm e b) 125 µm



Fonte: A autora, 2018

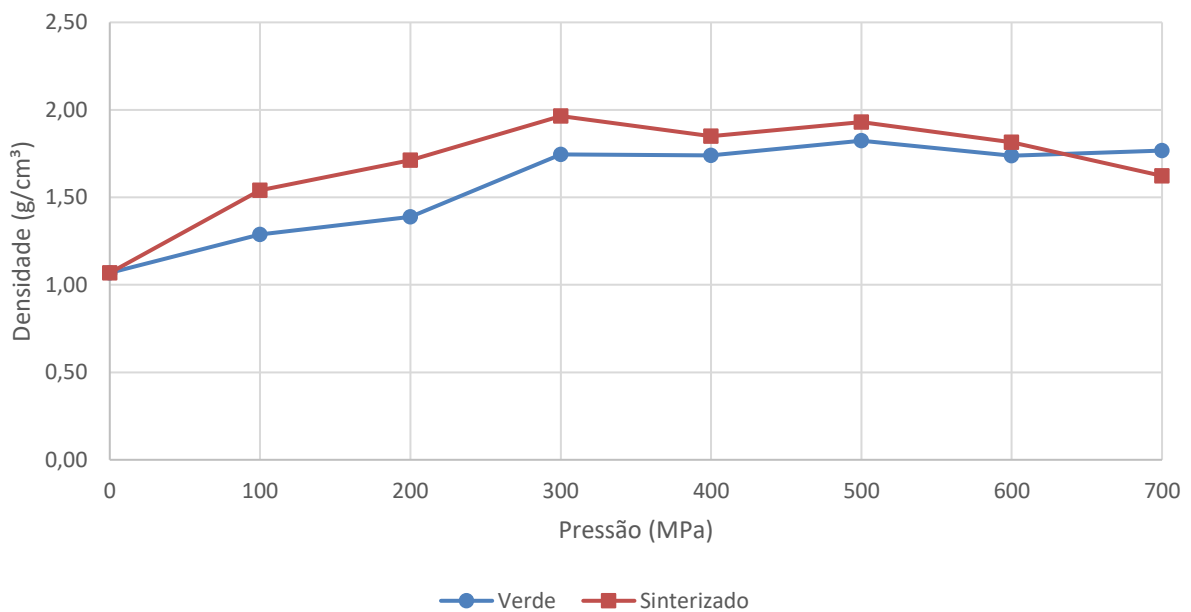
4.5. CURVA DE COMPRESSIBILIDADE

O resultado da massa específica aparente do pó de pitcher, obtido por meio da média de três determinações com picnômetros, foi de 2,60 g/cm³. Esse resultado

encontra-se dentro da faixa de valores para a densidade real dos grãos das cerâmicas da região, avaliadas por De Sousa, Do Nascimento e Barbosa (2016).

Para determinar a variação da densidade à verde em função da pressão de prensagem, foi realizada a curva de compressibilidade da mistura, sendo o primeiro ponto da curva a densidade aparente. A relação entre a densidade do compactado e a pressão de prensagem das amostras à verde e sinterizadas à 1200 °C nas seleções granulométricas de 37 μm são apresentadas na Figura 32.

Figura 32 - Curva de Compressibilidade à verde e Sinterizado – seleção granulométrica 37 μm

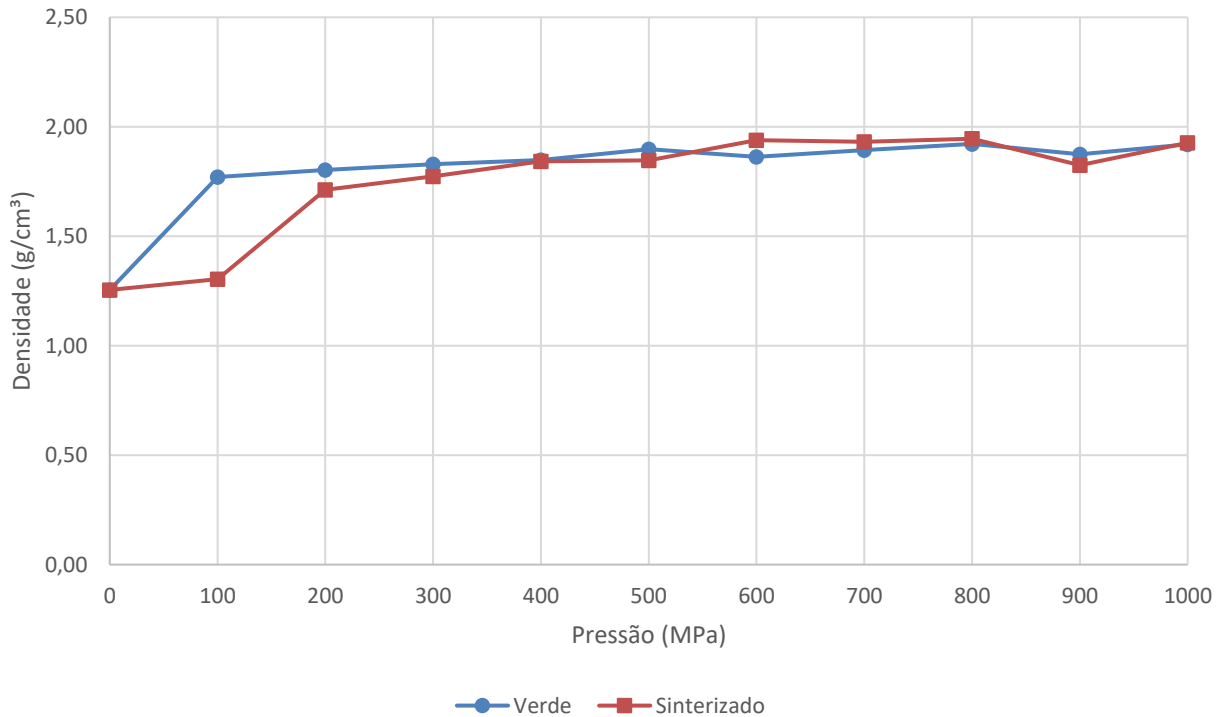


Fonte: A autora, 2018

As amostras foram medidas antes da sinterização e analisadas conforme a força de prensagem aplicada e o volume final da amostra. A aplicação das pressões variou nos parâmetros de compactação, pois havia o interesse em montar a curva de compressibilidade do material. Foram testadas pressões variando de 100 a 1000 MPa. Em pressões superiores a 1000 MPa as amostras não resistiam e acabavam por trincarem e fraturarem. A aplicação das pressões de 300, 700, 1000 MPa apresentaram resultados mais satisfatórios para o experimento, pois os corpos de prova mantinham-se intactos após a prensagem. Os resultados da densidade em relação à pressão a que foram submetidos os corpos de prova à verde e sinterizados à 1200 °C na granulometria 125 μm são apresentados na Figura 33. A densidade das amostras aumenta

proporcionalmente a pressão de prensagem enquanto a inclinação da curva diminui com o aumento da pressão.

Figura 33 - Curva de Compressibilidade à verde e Sinterizado – seleção granulométrica 125 μm



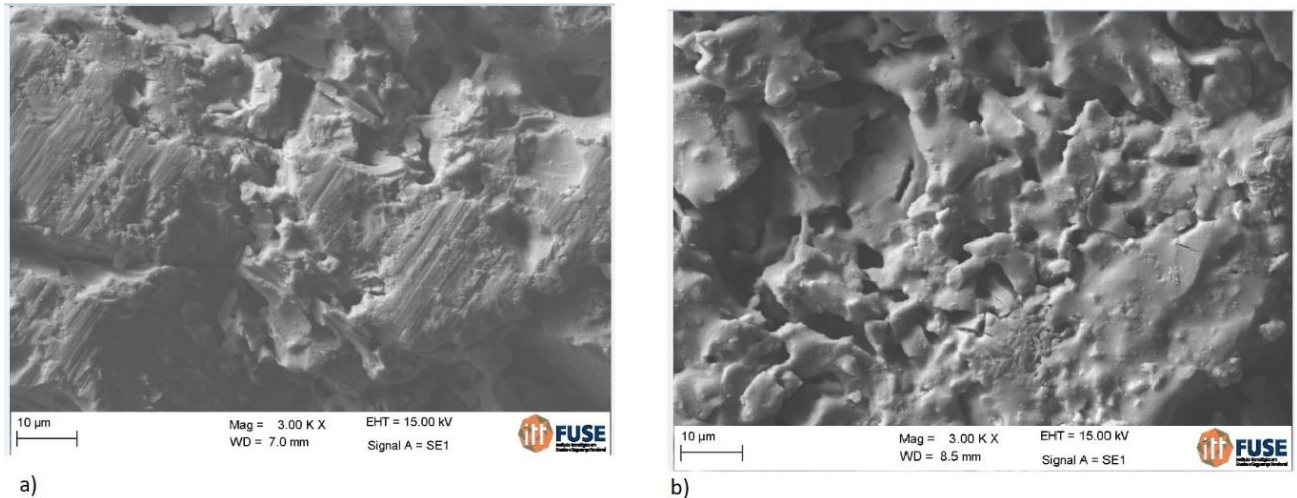
Fonte: A autora, 2018

O fato de as amostras conseguirem compactar em pressões de 700 e 1000 MPa demonstra uma boa compressibilidade da cerâmica. Além disso, observa-se em ambos os gráficos, que acima de 300 MPa há uma estabilidade na densidade do pitcher não havendo necessidade de uma compressão maior que 300 MPa.

4.6. ANÁLISE MICROSCÓPICA DO SINTERIZADO

Neste tópico são apresentados os resultados da microscopia eletrônica de varredura de topo das amostras sinterizadas de 37 μm e 125 μm . A fim de comparação foram realizados os MEVs das amostras sinterizadas à 1150 $^{\circ}\text{C}$ e 1200 $^{\circ}\text{C}$ mesmo que a amostra de 1150 $^{\circ}\text{C}$ tenha apresentado esfarelamento. Na Figura 34, pode-se visualizar a estrutura geral e a porosidade das amostras compactadas e sinterizadas à 1150 $^{\circ}\text{C}$ com aumento de 3000 vezes.

Figura 34 - Amostras sinterizadas à 1150 °C: a) 37 µm granulometria fina b) 125 µm granulometria grosseira



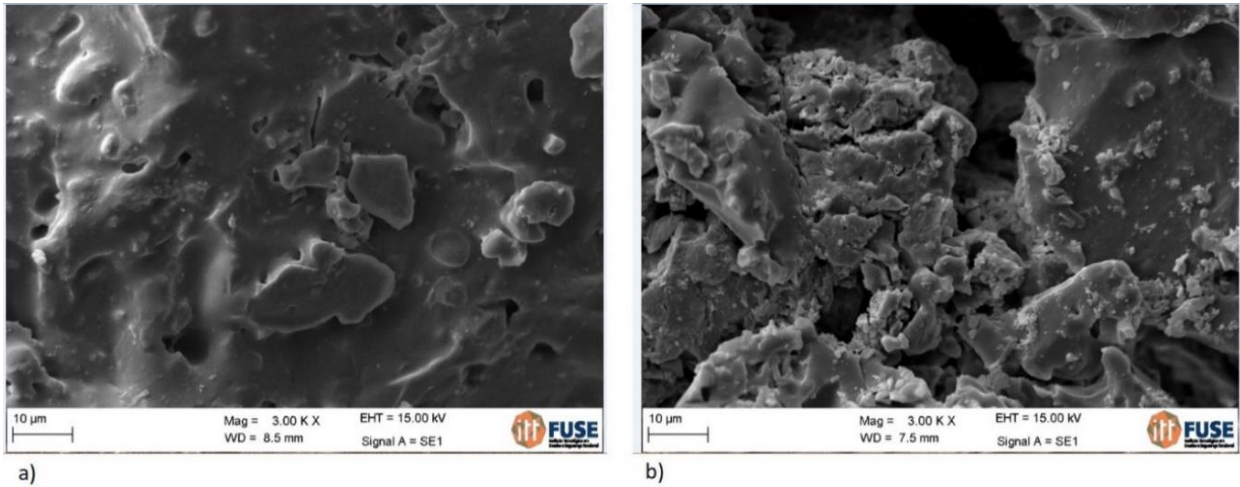
Fonte: A autora, 2018

Na Figura 34 a) e b), verificam-se formação de poros menores e mais homogêneos, além de fragilidade na estrutura, devido às trincas superficiais. Segundo a literatura (MOCELLIN, 2012), quanto menores as temperaturas, menor será a agitação das moléculas, portanto, mantendo-se as partículas unidas. A amostra fabricada por tecnologia do pó apresenta bom acabamento superficial, adequadas tolerâncias dimensionais e pequena geração de porosidade. Normalmente objetiva-se menor porosidade possível, para que a resistência mecânica não seja comprometida, mas em algumas aplicações ela pode ser desejável. Um material resistente, ainda que poroso, pode ser preferível, como em aplicações aeronáuticas, na fabricação de mancais auto lubrificantes e no caso de filtros, objetivo desta pesquisa.

As sinterizações são realizadas em temperaturas específicas abaixo do ponto de fusão do material-base da mistura e eventualmente acima do ponto de fusão do metal secundário da mistura. Neste caso o material base do resíduo é cerâmica já processada, ou seja, com alto ponto de fusão. Inicialmente os corpos de prova foram sinterizados à temperatura de 1050 °C, como não foi obtido homogeneidade suficiente, foram realizadas novas sinterizações até chegar em 1150 °C e 1200 °C.

A Figura 35 apresenta o resultado da microscopia eletrônica de varredura da granulometria grosseira, da seleção de 125 µm, sinterizado à 1200 °C, onde pode-se visualizar a estrutura geral e a porosidade nas diferentes amostras compactadas com força 300 MPa e 700 MPa com aumento de 3000 vezes:

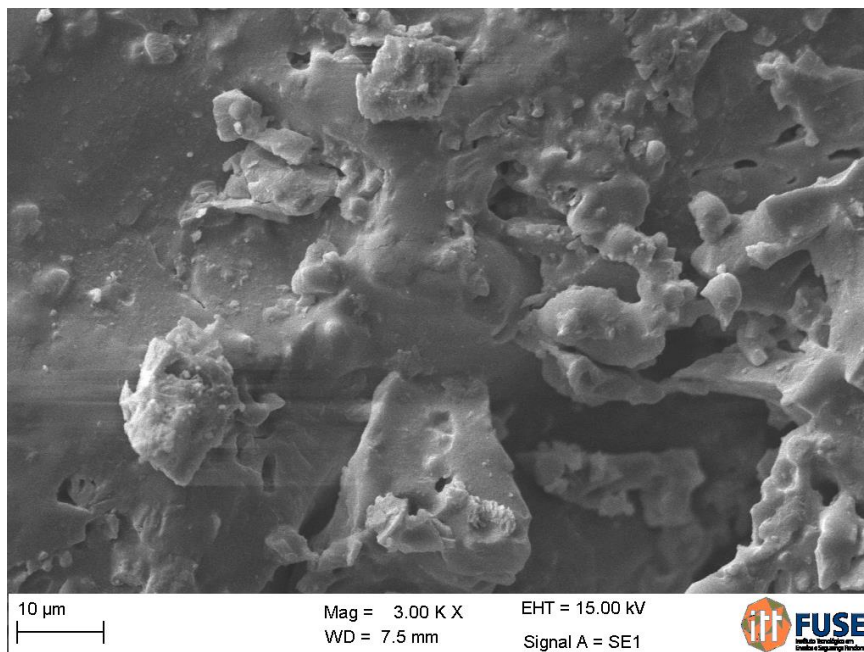
Figura 35 - Amostras sinterizadas à 1200 °C granulometria grosseira: a) compactação 300 MPa b) compactação 700 MPa



Fonte: A autora, 2018

Na Figura 35, ambas as amostras demonstraram presença de poros, porém a amostra com maior compactação, 700 MPa, apresentou fissuras, o que ocasiona uma estrutura frágil. Em muitas aplicações, onde as propriedades mecânicas são um diferencial, necessita-se um aumento da densidade destas peças através de maior pressão de compactação, diminuindo assim gradativamente os poros, como nota-se na amostra compactada à 1000 MPa, Figura 36.

Figura 36 - Amostras sinterizadas à 1200 °C granulometria grosseira - compactação 1000 MPa aumento de 1000 vezes

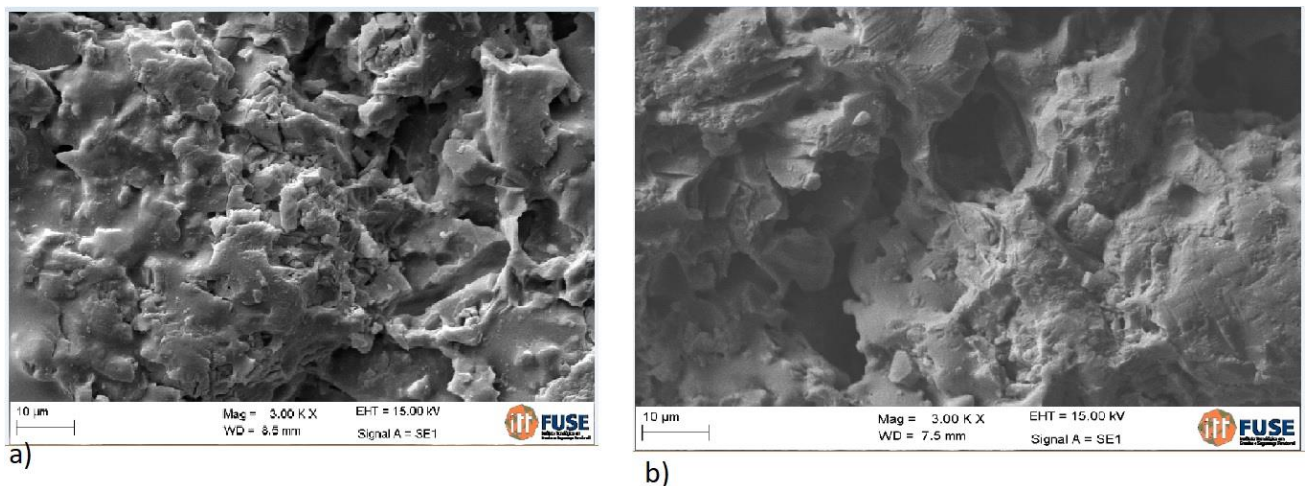


Fonte: A autora, 2018

Nota-se variação no tamanho dos poros nas três pressões de compactação, com tendência de homogeneidade nos corpos de prova. Na Figura 35 a), pode-se perceber uma maior ocorrência de poros interligados. A formação de porosidade fechada e esférica é esperada em amostras compactadas e sinterizadas, Figura 35 b), porém os poros irregulares, de maiores dimensões e não interligados, provavelmente sejam resultantes da presença de gases e da heterogeneidade das partículas do pitcher.

Já as amostras sinterizadas à 1200 °C com a seleção granulométrica de 37 µm e compactação de 300 MPa e 700 MPa, Figura 37, apresentaram uma superfície mais regular com pequena porosidade acentuada demonstrando não ser a granulometria mais adequada quando necessário maior porosidade na peça final, mesmo utilizando uma maior temperatura.

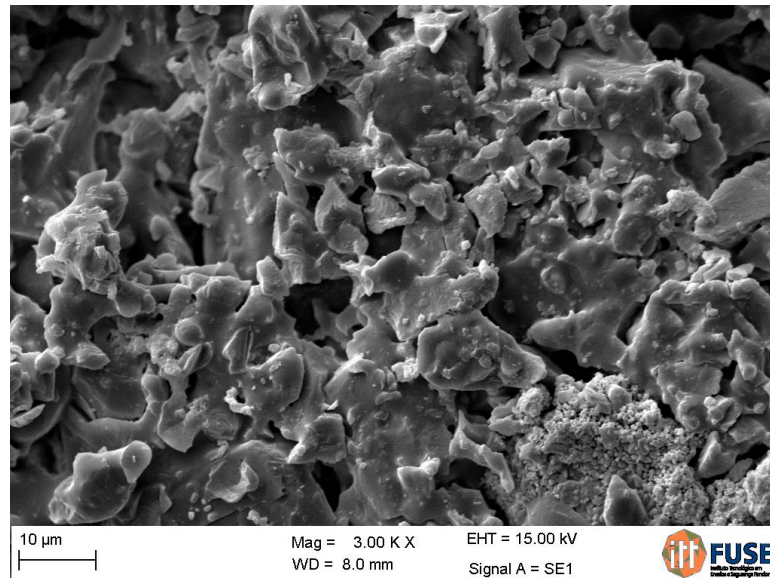
Figura 37 - Amostras sinterizadas à 1200 °C granulometria fina 37 µm a) compactação 300 MPa b) compactação 700 MPa



Fonte: A autora, 2018

Na Figura 38, pode-se visualizar também a estrutura porosa da amostra compactada com 500 MPa e sinterizada a 1200 °C no aumento de 3000 vezes na granulometria fina 37 µm. Apesar da grande quantidade aparente de poros, estes podem ser apenas superficiais e desconexos. Logo, outros ensaios foram realizados para a escolha da melhor granulometria e compactação na confecção do projeto final do filtro.

Figura 38 - Amostra sinterizada à 1200 °C granulometria fina 37 µm com compactação 500 MPa

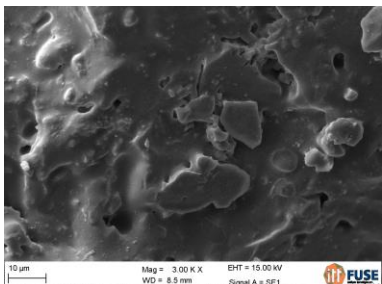


Fonte: A autora, 2018

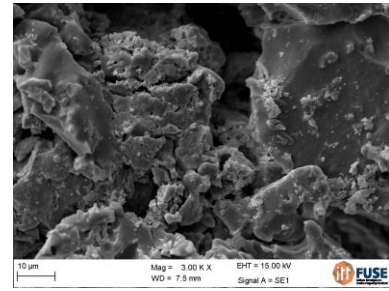
4.7. PERMEABILIDADE

Durante o teste de permeabilidade, as amostras sinterizadas à 1200 °C em ambas as granulometrias, foram submetidas à solicitação de escoamento de 20 ml de água para determinar se existiria a ultrapassagem do fluido e mensurar o tempo necessário para que o fluido atravessasse a amostra. A Tabela 8 exibe os resultados obtidos durante os testes de permeabilidade para amostras referente a granulometria de 125 µm confeccionadas à 1200 °C.

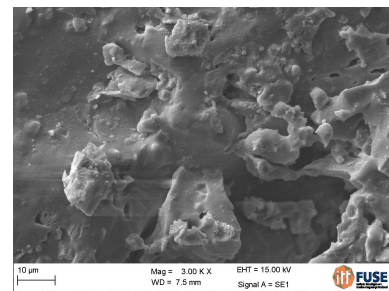
Tabela 8 - Tempo para atravessar 20 ml de água através da amostra 125 µm

Granulometria 125 µm – granulometria grosseira			
Código - Compressão (MPa)	Tempo - 20 ml	Densidade (g/cm ³)	MEV
3G - 300	20 hs 07 min	1,71	

7G - 700 25 horas 30 min 1,94



10G - 1000 48 horas 20 min 1,93



A Tabela 9 exibe os resultados obtidos durante os testes de permeabilidade para amostras referente a granulometria de 37 µm confeccionadas à 1200 °C.

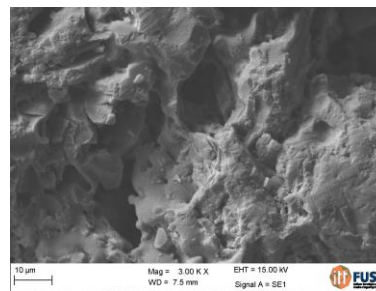
Tabela 9 - Tempo para atravessar 20 ml de água através da amostra 37 µm

Granulometria 37 µm – granulometria fina			
Código - Compressão (MPa)	Tempo - 20 ml	Densidade (g/cm³)	MEV
3F - 300	63 horas 20 min	1,71	
5F - 500	84 horas 10 min	1,85	

7F - 700

36 horas 35 min

1,81



Fica evidenciado com o teste de permeabilidade, que é possível o uso do pó de pitcher compactado e sinterizado para a fabricação de filtros biológicos. Suas finalidades e utilizações podem variar conforme a pressão utilizada para a compactação do pó e as diferentes geometrias possíveis para a fabricação do filtro desejado.

O longo tempo necessário para atravessar as amostras indica a capacidade de retenção do filtro. Sabe-se que os tempos maiores de escoamento do líquido evidenciam a presença de poros menores na estrutura da peça, o que, conseqüentemente, acaba influenciando na passagem do fluido. Esta é uma característica esperada em um FBP, onde o meio suporte, suporta a atividade de microrganismos que realizam a filtração biológica. A amostra com parâmetros qualificados para esta função seria a 3G onde teve o menor tempo de escoamento de 20 ml de água, isso significa que apesar do MEV demonstrar imagens com pouca quantidade de poros, estes foram conexos do início ao fim da amostra.

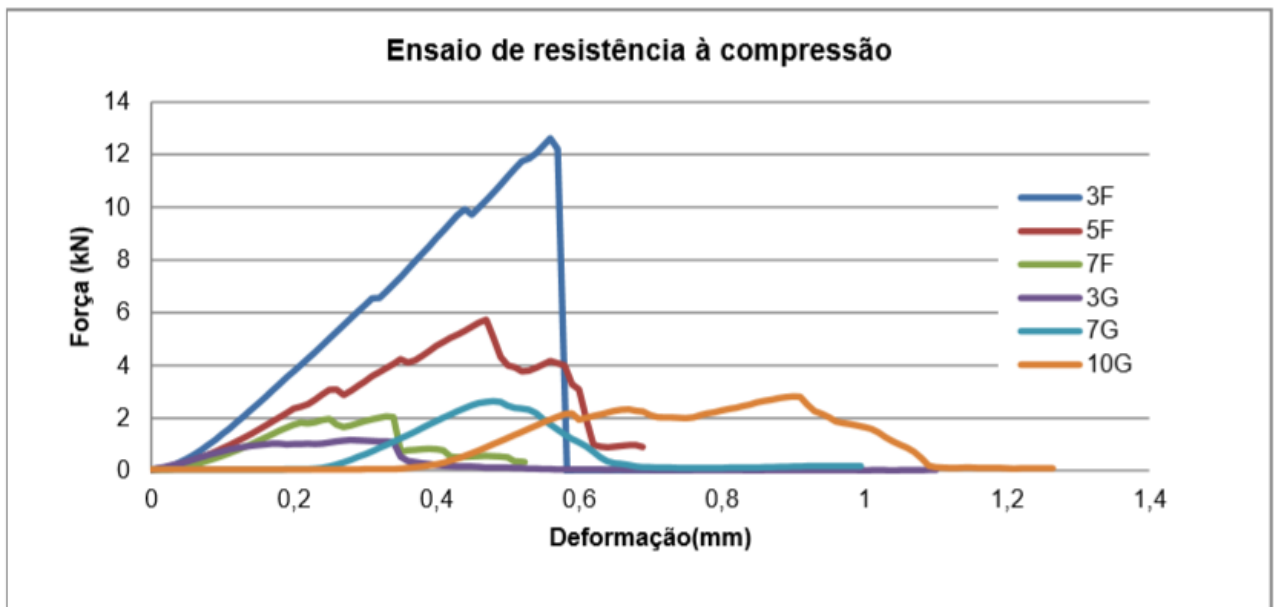
Já com a amostra 5F foram obtidos os maiores valores de tempo no ensaio de permeabilidade, o que seria indicado para filtração mais precisas e retenção de pequenas partículas, como os de filtros de barro para consumo de água residencial, isso significa que apesar do MEV demonstrar imagens com grande quantidade de poros, estes foram desconexos, apenas superficiais na amostra.

Observa-se também que as amostras do lote de 37 µm não seguiram um padrão de porosidade e tempo de escoamento. Devido a sua granulometria fina acredita-se que ocorreu uma falta de poros interconectados, ademais, devido à compactação à verde e análise dos gráficos de compressibilidade, presumiu-se que a amostra de código 7F ultrapassou o limite da compressibilidade, apresentando trincas na sua estrutura, o que poderia ter causado a diminuição do tempo de escoamento da água.

4.8. ENSAIO DE COMPRESSÃO

Na Figura 39 é apresentado o gráfico com as curvas do ensaio de resistência à compressão obtidas para os corpos de prova 3F, 5F, 7F e 3G, 7G, 10G testados na temperatura de (23 ± 2) °C. A amostra 3F foi a que apresentou maior resistência, porém com um rompimento instantâneo sem grandes deformações. A amostra 10G apresentou uma maior deformação, porém com uma menor força máxima. Este efeito ocorre devido as características da microestrutura do material e a baixa pressão de compactação. As demais amostras apresentaram um comportamento similar: baixa resistência e deformação relativamente contínua.

Figura 39 - Gráfico do ensaio de resistência à compressão



Fonte: A autora, 2019

Na Tabela 10 são apresentados os resultados de força máxima e deformação na força máxima obtidos para os corpos de prova no ensaio de resistência à compressão. Observa-se uma reduzida tenacidade e resistência mecânica dos corpos de prova, comportamento este típico de materiais cerâmicos (MUNZ e FETT, 1999).

Tabela 10 - Força máxima (N) e deformação na força máxima (mm) obtidos no ensaio de resistência à compressão

Corpo de prova	Força máxima (N)	Deformação na força máxima (mm)
3F	12.624	0,56
5F	5.735	0,47
7F	2.064	0,33
3G	1.163	0,28
7G	2.633	0,48
10G	2.823	0,90

A porosidade influencia diretamente na resistência sobre as propriedades elásticas e mecânicas, onde o módulo de elasticidade diminui em função da fração volumétrica da porosidade. Os baixos valores encontrados no ensaio de compressão se justificam devido os poros atuarem como concentradores de tensão e reduzirem a área da seção transversal o qual a carga é aplicada.

De maneira geral, a baixa resistência apresentada neste ensaio foi um resultado positivo visto que como filtro de adesão é importante uma certa quantidade de porosidade e não uma estrutura de altas resistências, que necessite suportar cargas.

4.9. ANÁLISE DA SUPERFÍCIE

A superfície específica do filtro cerâmico foi obtida, através da Equação 2, utilizando o diâmetro médio de partícula obtida no ensaio de distribuição granulométrica.

$$S = 4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot [1 / (4/3 \cdot \pi \cdot R^3) \cdot \rho] = 3/R \cdot \rho = 6/D \cdot \rho \quad (2)$$

Onde D é o diâmetro das partículas em μm e a superfície específica S dada em m^2/grama , simplificando, tem-se a Equação 3:

$$S (\text{m}^2/\text{g}) = 6000/D \cdot \rho \quad (3)$$

Aplicando os valores de diâmetro 143 μm , densidade 1,77 g/cm^3 obtém-se o valor de superfície específica de 23,705 m^2/grama .

O índice de vazios foi determinado relacionando o volume do líquido conhecido em uma proveta graduada com a presença dos corpos de prova do meio suporte e sem eles. Os volumes foram relacionados e o índice de vazios foi determinado através da Equação 4.

$$\text{Índice de Vazios} = \frac{\text{Volume do líquido conhecido com enchimento}}{\text{Volume do líquido conhecido sem enchimento}} \quad (4)$$

A Tabela 11 apresenta os valores médios dos volumes de líquido com e sem a presença dos corpos de prova, bem como do índice de vazios do filtro cerâmico.

Tabela 11 - Índice de vazios do filtro cerâmico

Volume com Enchimento (L)	Volume sem Enchimento (L)	Índice de Vazios (%)
0,850	1,0	85

O valor médio obtido nos três ensaios na equação resultou em índice de vazios da ordem de 85%. Este valor apresentou-se em uma posição intermediária entre os meios suportes difundidos: escória de alto-forno e pedra britada apresentam índice de vazios na ordem de 50 a 60 %, blocos *cross flow* e anéis plásticos apresentam valores de até 97%, já anéis randômicos obtiveram índice de 95% (SANTOS, 2005).

4.10. APLICAÇÃO DO FILTRO: OPERAÇÃO DO PROTÓTIPO

Após a seleção da amostra mais adequada para utilização como meio suporte no filtro biológico percolador, foi necessária que as amostras ficassem em contato com o efluente durante 30 dias para que formassem o biofilme. A Figura 40 apresenta a amostra que ficou exposta ao efluente, a coloração escura do corpo de prova é o resultado da formação do biofilme aderido.

Figura 40 - Filtro após formação de biofilme



Fonte: A autora, 2021

Esse tempo de exposição das amostras com o efluente é necessário para implantação dos microrganismos à superfície do meio suporte. Neste caso, demorou um maior período, pois o efluente em contato já estava tratado. Com o biofilme aderido iniciou-se a operação do protótipo.

A operação do protótipo, conforme Figura 41, começa com a entrada do efluente. Através de uma bomba dosadora o efluente é direcionado para o topo do protótipo, permitindo assim a filtração biológica.

Figura 41 - Protótipo em operação

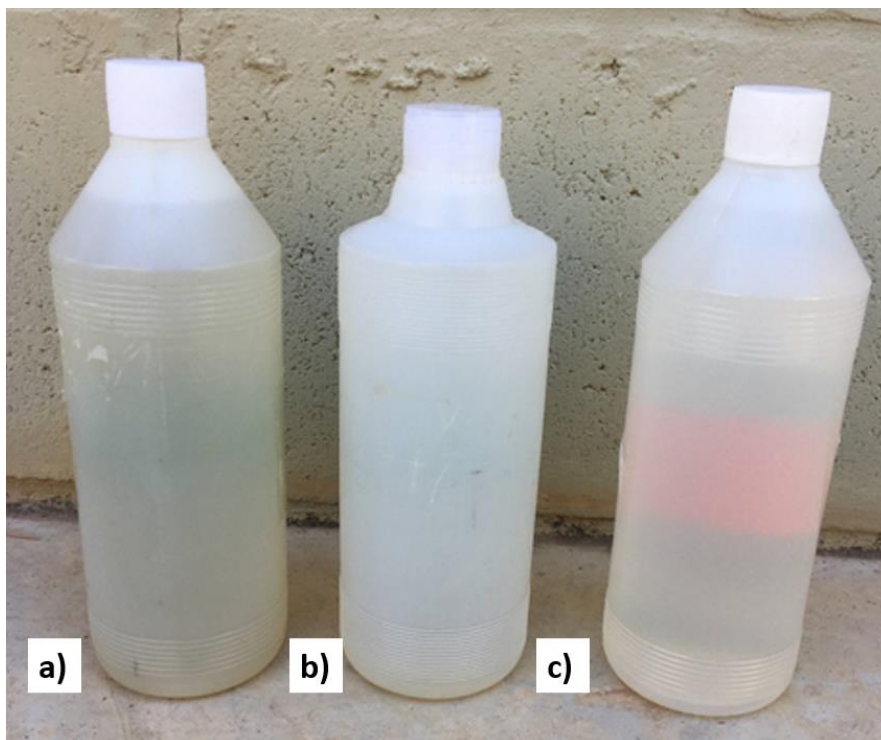


Fonte: A autora, 2021

4.11. PARÂMETROS ANALISADOS NO EFLUENTE PARA VALIDAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO FILTRO

A Figura 42 apresenta os frascos com as coletas de esgoto bruto, efluente tratado com filtro e sem o filtro na sequência. Esta coleta foi realizada após 30 dias de operação do filtro, onde é já possível visualizar a diferença de cor de cada um dos efluentes.

Figura 42 - Frascos com coletas de esgoto bruto (a), efluente tratado com filtro (b) e efluente tratado sem filtro (c)



Fonte: A autora, 2021

4.11.1. Análise DQO

A Tabela 12 e o seu respectivo gráfico exibido na Figura 43 demonstram que o tratamento com o FBP de pitcher manteve resultados consolidados de remoção ao longo do tratamento. Os primeiros resultados como FBP de pitcher apresentaram índices semelhantes na remoção de DQO em comparação ao tratamento tradicional da ETE. Na terceira semana percebe-se um real incremento, nas semanas seguintes o tratamento tradicional volta a estabilizar.

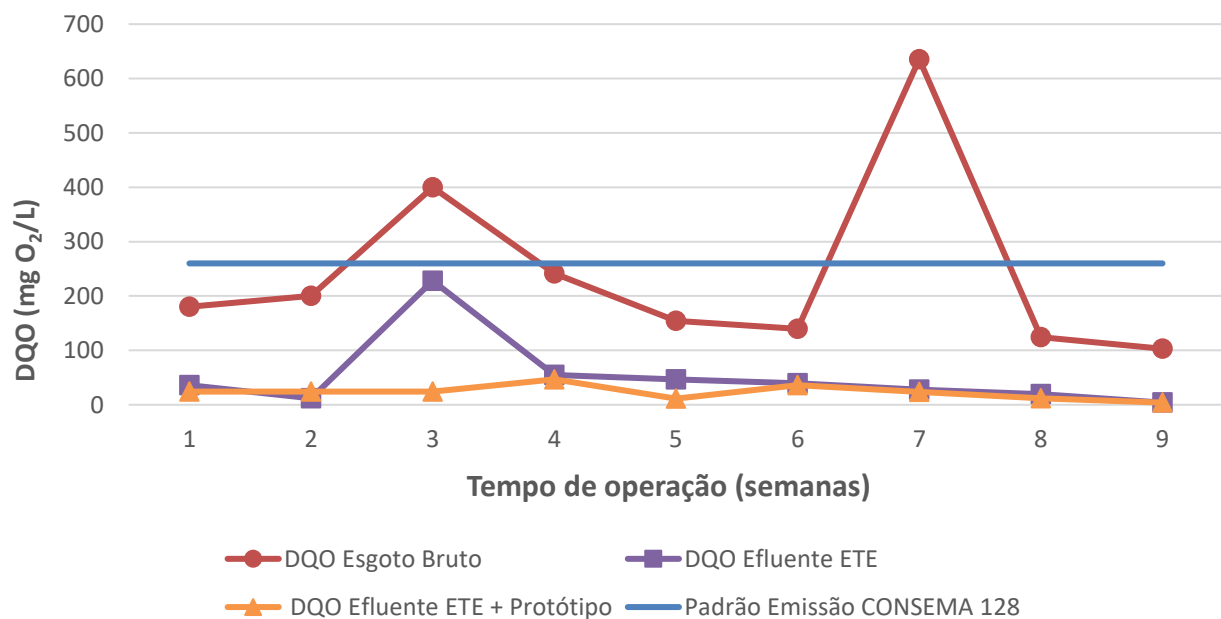
A ETE onde este experimento foi realizado possui uma vazão de no máximo 864 m³/dia, a Resolução CONSEMA n° 128/2006 determina que o padrão de emissão para DQO é de 260 mgO₂/L para uma vazão de 500 a 1000 m³/dia.

O efluente do pós-tratamento, com e sem filtro, em nenhum momento alcançou o limite estabelecido pela CONSEMA. A DQO do efluente esgoto bruto apresentou um valor médio de 242,05 mgO₂/L, já com o tratamento da ETE 51,99 mgO₂/L e com o protótipo fica em torno de 22,85 mgO₂/L.

Tabela 12 - DQO esgoto bruto, ETE convencional e ETE associada ao protótipo

Semana	DQO Esgoto bruto (mg/L)	DQO Efluente ETE (mg/L)	DQO Efluente + Protótipo (mg/L)
1	180	36	24
2	200	12	24
3	400	228	24
4	241,7	54,58	46,78
5	154,4	46,33	11,58
6	139,4	39,84	35,86
7	635,5	27,72	23,76
8	124,5	19,46	11,67
9	103	3,96	3,96

Figura 43 - DQO esgoto bruto, ETE convencional e ETE associada ao protótipo

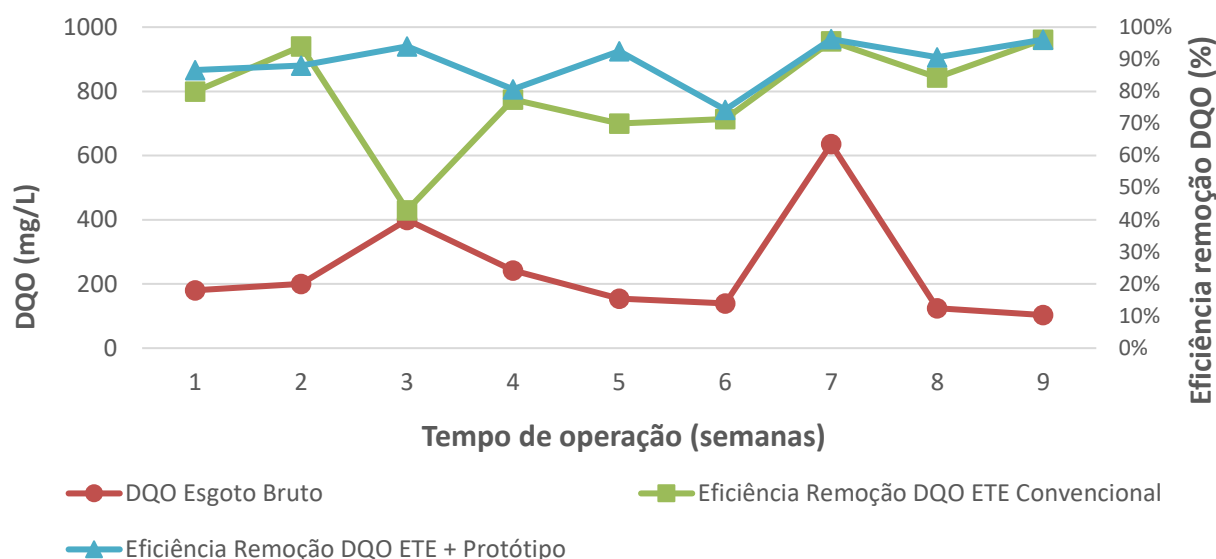


Fonte: A autora, 2021

A

Figura 44 faz um comparativo entre as eficiências dos tratamentos. A partir disso, pode-se indicar que o protótipo do filtro biológico mantém a eficiência estável, principalmente, quando a ETE tem sua eficiência diminuída. Nota-se também, que no geral, o protótipo do filtro aumenta a eficiência quanto maior a DQO do esgoto bruto. Isso ocorre devido à maior disponibilidade de matéria orgânica no efluente a ser tratado.

Figura 44 - Eficiência da ETE e ETE associada ao protótipo comparada à DQO do esgoto bruto



Fonte: A autora, 2021

Na semana 4 ocorreu uma leve redução de eficiência do protótipo do filtro biológico, o que pode ser associado a uma obstrução na câmara de bombeamento da ETE que gera uma diminuição da vazão de entrada de efluente e limita a disponibilidade de alimento aos microrganismos. Já na semana 6 acredita-se que a redução da eficiência ocorreu devido a quantidade elevada de sólidos retidos pelo sistema do protótipo. Esses sedimentos acumulados geram elementos cisalhados que se desprendem e se transformam em uma concentração de sólidos no efluente pós-tratado, o que de acordo com a literatura (MARTINS, 2016) contribui para o aumento da DQO.

A eficiência de remoção de DQO do protótipo está relacionada com o índice de vazios, o qual permite a aderência e permanência de atividade microbiana. Os valores encontrados na pesquisa de FBP com pitcher atingiu uma média aproximada de 89% de eficiência na DQO e um índice de vazios de 85%.

4.11.2. Análise DBO

A Resolução CONSEMA n° 355/2017 determina que o padrão de emissão para DBO em uma estação de tratamento de esgotos domésticos é de 80 mg/L para uma vazão de 500 a 1000 m³/dia.

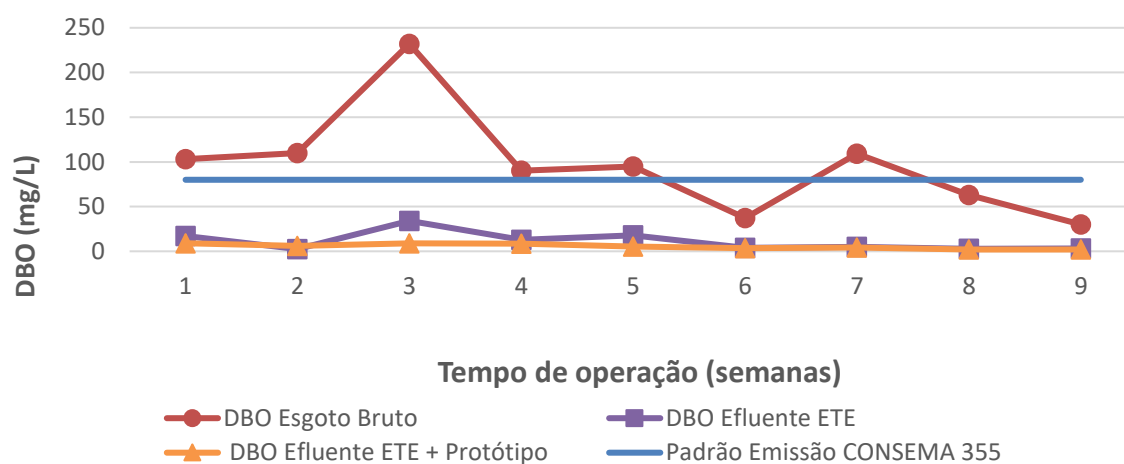
A Tabela 13 e o seu respectivo gráfico exibido na Figura 45 apresentam os valores obtidos de DBO durante as nove semanas de ensaio. Percebe-se a estabilidade da eficiência do filtro, além de um incremento de 10% de DBO no efluente tratado pela ETE

convencional, na semana 3. O protótipo demonstrou contribuir para o lançamento de um efluente com menor impacto no corpo hídrico receptor.

Tabela 13 - DBO esgoto bruto, ETE convencional e ETE associada ao protótipo

Semana	DBO Esgoto bruto (mg/L)	DBO Efluente ETE (mg/L)	DBO Efluente + Protótipo (mg/L)
1	103	17	9
2	110	2,5	6,1
3	232	34	8,8
4	90	13	8,7
5	95	18	5,3
6	37	3,7	3,5
7	109	4,9	4,3
8	63	2,8	2
9	30	3	2

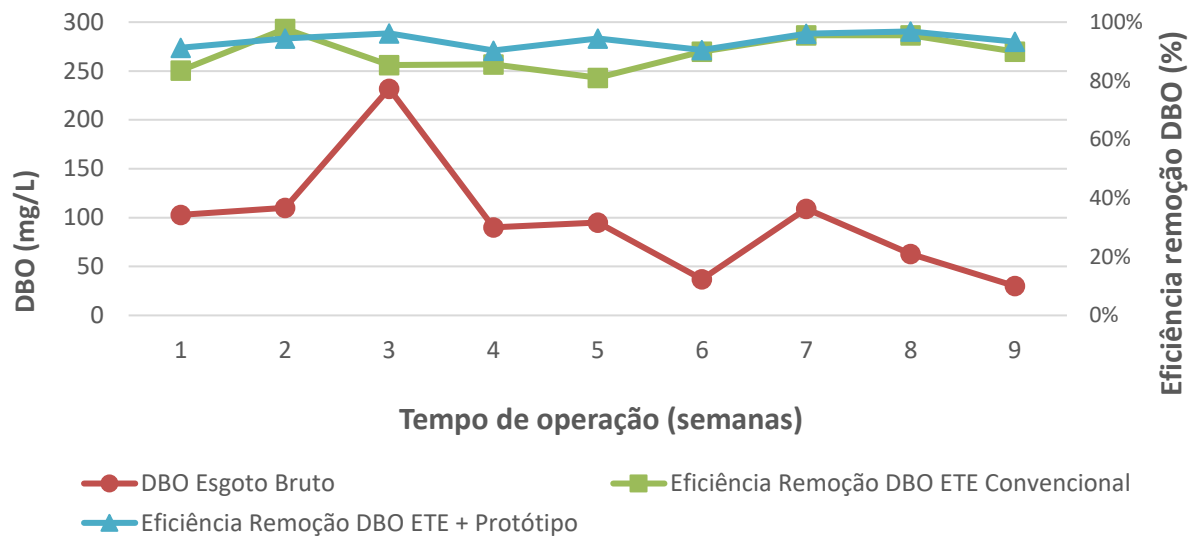
Figura 45 - DBO esgoto bruto, ETE convencional e ETE associada ao protótipo



Fonte: A autora, 2021

A DBO do efluente esgoto bruto apresentou um valor médio de 98,55 mg/L, já com o tratamento da ETE apresentou um valor de 10,98 mg/L e com o protótipo ficou em torno de 5,52 mg/L. Na Figura 46, é possível verificar os valores das coletas em percentuais, onde destaca-se o incremento do DBO e estabilidade no processo.

Figura 46 - Eficiência da ETE e ETE associada ao protótipo comparada à DBO do esgoto bruto



Fonte: A autora, 2021

4.11.3. Análise OD

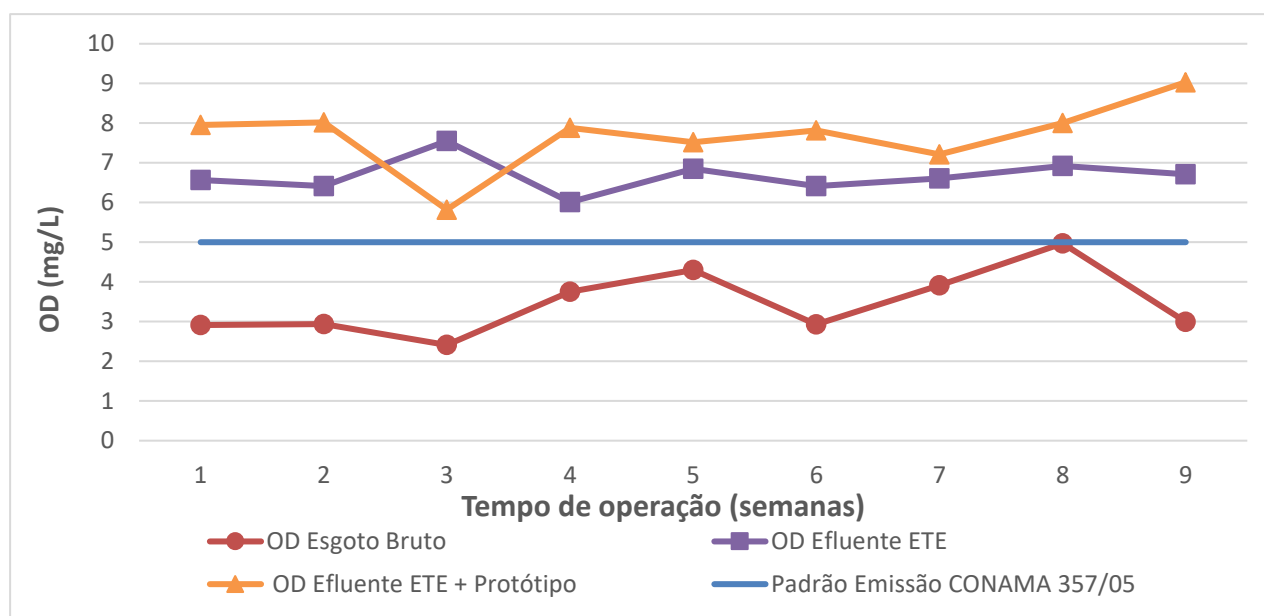
Oxigênio Dissolvido (OD) é um fator importante para manutenção da vida aquática e dos processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e estações de tratamento de esgotos. Uma das causas mais frequentes de mortandade da vida aquática é a queda na concentração de oxigênio nos corpos d'água (VALENTE, PADILHA e SILVA, 1997).

O valor mínimo de OD para a preservação do meio, estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (CONAMA, 2005) é de 5,0 mg/L, mas existe uma variação na tolerância de espécie para espécie. Na Tabela 14 e o seu respectivo gráfico exibido na Figura 47 é possível visualizar que o protótipo com filtros gerou um incremento na OD, inclusive com uma visível diferença de bolhas de ar durante a coleta, tanto quando comparado ao esgoto bruto quanto com efluente da ETE. O OD do efluente com o protótipo chegou ao pico de 9,03 mg/L e nenhum dos efluentes chegou a uma OD abaixo da Resolução do CONAMA.

Tabela 14 - OD esgoto bruto, ETE convencional e ETE associada ao protótipo

Semana	DBO Esgoto bruto (mg/L)	OD Efluente ETE (mg/L)	OD Efluente + Protótipo (mg/L)
1	2,91	6,57	7,95
2	2,94	6,41	8,02
3	2,41	7,55	5,82
4	3,75	6,01	7,88
5	4,3	6,85	7,52
6	2,93	6,41	7,82
7	3,91	6,61	7,21
8	4,97	6,92	8,00
9	2,99	6,71	9,03

Figura 47 - OD esgoto bruto, ETE convencional e ETE associada ao protótipo



Fonte: A autora, 2021

5. CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos, após os ensaios realizados, pode-se concluir que o pitcher, pó de resíduo de louça sanitária, apresentou-se morfológicamente bem constituído com resultados satisfatórios quanto às análises estudadas nesse trabalho, mostrando possuir um futuro promissor para sua aplicação na fabricação de peças utilizando tecnologia do pó.

O pitcher sinterizado à 1200 °C apresentou uma boa permeabilidade para que seja utilizado como filtro para a retenção de pequenas partículas. Onde menores pressões de compactação resultam em um material mais permeável e logo mais econômico. Por outro lado, materiais com maiores pressões de compactação são capazes de reter partículas menores já que possuem poros menores. Além disso, percebe-se que para filtros de esgoto, por exemplo, onde é necessário escoamento mais rápido do efluente e filtragem de resíduos grosseiros, a amostra mais indicada é a 3G. A amostra 3G teve o menor tempo de escoamento de 20ml de água e, apesar do MEV demonstrar imagens com pouca quantidade de poros, estes foram conexos do início ao fim da amostra.

Foi também desenvolvido um dispositivo para facilitar o ensaio de permeabilidade além de trazer os principais objetivos e critérios solicitados na norma ISO 4022:2018 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018) a fim de facilitar o entendimento e aplicação em trabalhos relacionados a filtros sinterizados.

A amostra 3G demonstrou ser a mais adequada para confecção de filtros de adesão pois, através de análise química, mecânica e física, atendeu requisitos de morfologia, porosidade, resistência e elementos químicos, para o uso como filtro de adesão de bactérias em efluentes urbanos. Além de ter uma rota viável de fabricação, utilizando matéria prima que seria descartada, através de um processo econômico por tecnologia do pó, com estabilidade de pressões de prensagem de 300 Mpa e temperatura de 1200 °C.

Na aplicação do protótipo com os filtros biológicos cerâmicos no efluente, o mesmo demonstrou um aumento significativo tanto na DBO, quanto no DQO e OD. Além de manter a estabilidade do processo de tratamento da ETE. A eficiência biológica apresentou resultados positivos com possibilidades de aplicação em aquaponia; filtragem; sistemas de saneamento domésticos, dentre outros.

Como trabalhos futuros a serem desenvolvidos a partir deste, podem-se sugerir os seguintes:

- Realizar captura de imagem das mídias antes da ocupação dos poros e após a instalação das colônias de bactérias. A partir da microscopia eletrônica de varredura, identificar qual gênero e formato da bactéria, contribuindo na determinação de melhorias no formato da mídia filtrante, potencializando assim, a sua eficácia e eficiência.
- Aumento de superfície externa, utilizando, por exemplo, corpos de prova maiores, porém vazados.
- Avaliação da camada externa de mucilagem bacteriana e da forma como se liga ao corpo de prova através de exames de imagens, já que há o relato de desprendimento desta camada.
- Comparação com outros materiais, como a brita, para demonstrar a potencial melhoria proporcionada pelo material sinterizado.

REFERÊNCIAS

- ALBERTSON, O. E. Excess biofilm control by distributor-speed modulation. **Journal of environmental engineering**, v. 121, n. 4, p. 330-335, 1995.
- ALBUQUERQUE, L. M. C. **Reciclagem e estudo de reaproveitamento de resíduos cerâmico de indústria de louça sanitária**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2009.
- ALBUQUERQUE, T. M. A.; SOUSA, I. D. H.; ALMEIDA, I. R.; SOUZA, T. P.; TEIXEIRA, L. E.; SOUZA, A. K. O.; SANTANA, I. R. Análise da eficiência de um filtro de pedra porosa desenvolvido para o tratamento preliminar de esgoto doméstico. **Scientia Plena**, v. 13, n. 10, p. 1-5, Outubro 2017.
- ALMEIDA, D. H.; GRILLO, R. H. F.; MAESTRELLI, S. C.; ROVERI, C. D. Properties of concrete manufactured with use of ceramic sanitary ware waste as aggregate. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, 2019.
- ALMEIDA, P. G. S. **Efeito de diferentes tipos de meio suporte no desempenho de filtros biológicos percoladores aplicados ao pós-tratamento de efluentes de reatores UASB, com ênfase na nitrificação**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte. 2007.
- ALMEIDA, P. G. S. **Remoção de matéria orgânica e nitrogênio em filtros biológicos percoladores aplicados ao pós-tratamento de efluentes de reatores UASB**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2012.
- ALMEIDA, P. G. S.; OLIVEIRA, S. C.; CHERNICHARO, C. A. L. Operação de filtros biológicos percoladores pós-reatores UASB sem a etapa de decantação secundária. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 16, n. 3, p. 271-280, Julho/Setembro 2011.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION & WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 22nd. ed. Washington: American Public Health Association, 2012.
- AMIN, S. K.; SIBAK, H. A.; EL-SHERBINY, S. A.; ABADIR, M. F. An Overview of Ceramic Wastes Management in Construction. **International Journal of Applied Engineering Research**, v. 11, n. 4, p. 2680-2685, 2016.
- ASIF, M. B.; ZHANG, Z. Ceramic membrane technology for water and wastewater treatment: A critical review of performance, full-scale applications, membrane fouling and prospects. **Chemical Engineering Journal**, v. 418, p. 1-18, Agosto 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2017. Disponível em: <http://www.abceram.org.br/asp_0.asp>. Acesso em: 17 Fevereiro 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro. 2004a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro. 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro. 2004c.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM B331-16: Standard Test Method for Compressibility of Metal Powders in Uniaxial Compaction**. West Conshohocken, PA. 2016.

BILOTTA, P.; LIMA, A. B. B. V.; DANIEL, L. A. Análise de desempenho do carvão ativado e anéis de polietileno em biofiltro aerado para o pós-tratamento de esgoto sanitário. **REVISTA AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, v. 5, n. 2, p. 37-44, 2012.

BOCCACCINI, D.; CANNIO, M.; BERNARDO, E.; BOCCACCINI, A. R. Glass and Glass-Ceramic Matrix Composites for Advanced Applications: Part I: Properties and Manufacturing Technologies. In: POMEROY, M. **Encyclopedia of Materials: Technical Ceramics and Glasses**. [S.l.]: Elsevier, v. 2, 2021. p. 277-287.

BORBA, A. L. B. **Filtros percoladores para tratamento de esgoto: Comparação entre métodos de dimensionamento e materiais utilizados como meio suporte e proposição de melhorias a partir das experiências observadas no Brasil e na Alemanha**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná (UFPR). Curitiba. 2017.

BRASIL. Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. **PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos**, Diário Oficial da União, seção 1, p.3. Brasília, DF, ago 2010. Diário Oficial da União, seção 1, p.3.

BRESSANI-RIBEIRO, T.; ALMEIDA, P. G. S.; VOLCKE, E. I. P.; CHERNICHARO, C. A. L. Trickling filters following anaerobic sewage treatment: state of the art and perspectives. **Environmental Science: Water Research & Technology**, v. 4, n. 11, p. 1721-1738, September 2018.

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 9ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CASAGRANDE, M. C.; SARTOR, M. N.; GOMES, V.; DELLA, V. P. Reaproveitamento de resíduos sólidos industriais: Processamentos e aplicações no setor cerâmico. **Cerâmica Industrial**, v. 13 (1/2), p. 35, 2008.

CAVALCANTE, W. F. V. **Aproveitamento de resíduos cerâmicos da indústria de louça sanitária para produção de massas para revestimento cerâmico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Recife, p. 56-61. 2004.

CAVALCANTE, W. F. V.; FERREIRA, R. A. S.; YADAVA, Y. P. Estudo do potencial de produção de massas para revestimento cerâmico utilizando resíduos do processo de fabricação de louças sanitárias. **Cerâmica Industrial**, Criciúma, v. 13, n. 5, p. 29-33, Setembro/Outubro 2008.

CHIAVERINI, V. **Metalurgia do pó**. 4. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia (ABM), 2001. 183 p.

CHINELATTO, S. A. **Sinterização de pós ultra-finos de Alumina para obtenção de cerâmicas densa e com pequenos tamanhos de grãos**. Tese (Doutorado), Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR). São Carlos. 2002.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasil. 2005.

CONSEMA. CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 128 de 24 de novembro de 2006**. Dispõe sobre a fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2006.

CONSEMA. CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 355 de 19 de julho de 2017**. Critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2017.

CORRÊA, W. C.; RIETOW, J. C.; AMARAL, K. C. G.; AISSE, M. M. **Avaliação de desempenho de um filtro percolador de baixa taxa, em escala plena, como pós-tratamento de reator anaeróbio visando a nitrificação do efluente**. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Foz do Iguaçu: [s.n.]. 2019. p. 1-10.

DE SOUSA, J. B. M.; DO NASCIMENTO, P. H. M.; BARBOSA, A. G. **Análise de massa específica aparente na produção de porcelanato utilizando resíduos de caulim e granito sinterizados a temperatura de 1200 °C**. XIII Congresso Nacional de Meio Ambiente. Poços de Caldas/MG: CNMA. 2016.

DE SOUZA, M. F.; SOARES, R. M. Ultrafiltro de alumina. **Cerâmica**, v. 45, n. 292-293, p. 68-74, 1999.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

FANG, Z. Z. **Sintering of Advanced Materials**. 1st. ed. [S.I.]: Woodhead Publishing, 2010.

FIGUEIREDO, E. C. **Avaliação do comportamento de resíduo de louça sanitária (scrap) como agregado de formato homogêneo em variadas formulações de concreto**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG). Poços de Caldas. 2020.

FRANCIS, L. F. **Materials Processing: A Unified Approach to Processing of Metals, Ceramics and Polymers**. 1st. ed. [S.I.]: Academic Press, 2016.

GERMAN, R. M. **Sintering: From Empirical Observations to Scientific Principles**. 1st. ed. Waltham: Butterworth-Heinemann, 2014.

GIORDANO, G. Tratamento e controle de efluentes industriais. **Revista ABES**, v. 4, n. 76, p. 1-84, 2004.

GONÇALVES, R. F.; CHERNICHARO, C. A. L.; NETO, C. O. A.; SOBRINHO, P. A.; KATO, M. T.; COSTA, R. H. R.; AISSE, M. M.; ZAIAT, M. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por reatores com biofilme. In: CHERNICHARO, C. A. L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Rio de Janeiro: PROSAB/FINEP, 2001. Cap. 4.

GROOVER, M. P. **Fundamentos da Moderna Manufatura**. 5ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 1, 2017.

GUERRA, I.; VIVAR, I.; LLAMAS, B.; JUAN, A.; MORAN, J. Eco-efficient concretes: the effects of using recycled ceramic material from sanitary installations on the mechanical properties of concrete. **Waste Management**, v. 29, n. 2, p. 643-646, 2009. Disponível em: <<https://sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X08001931>>. Acesso em: 6 abr. 2019.

HE, Z.; LYU, Z.; GU, Q.; ZHANG, L.; WANG, J. Ceramic-based membranes for water and wastewater treatment. **Colloids and Surfaces A**, v. 578, p. 1-19, Outubro 2019.

HIGASHITANI, K.; MAKINO, H.; MATSUSAKA, S. **Power Technology Handbook**. 4th. ed. Boca Raton: CRC Press, 2020.

HOGANAS. **Handbook for Sintered Components: Design and Mechanical Properties**. 1ª. ed. Hoganas, Suécia: Hoganas AB, 2015.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Perfil dos Municípios Brasileiros: 2017**. Rio de Janeiro, p. 106. 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4022: Permeable sintered metal materials - Determination of fluid permeability**. [S.I.]. 2018.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 8ª. ed. Rio de Janeiro: Editora ABES, 2017.

KARSOKAS, N.; BRITO, S. L. M.; GUIMARÃES, K. L.; ROSSETO, C. M. Influência de Parâmetros Como: Distribuição e Tamanho de Partículas e Pressão de Compactação na Porosidade de Compactos a Verde de Aço Inoxidável para Fabricação de Filtros. **Boletim Técnico Fatec SP**, São Paulo, v. 16, 2004.

LEMOISSON, F.; FROYEN, L. Understanding and improving powder metallurgical process. In: SEETHARAMAN, S. **Fundamentals of Metallurgy**. 1st. ed. [S.I.]: Woodhead Publishing, 2005. Cap. 12, p. 471-502.

MARSHALL, F. **Contaminated irrigation water and food safety for the urban and peri-urban poor: appropriate measures for monitoring and control from field research in India and Zambia**. [S.I.]. 2007.

MARTINS, V. F. **Influência do meio suporte e da presença de vegetação no desempenho de filtros biológicos percoladores**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa (UFV). Viçosa. 2016.

MARTINS, V. F. **Influência do meio suporte e da presença de vegetação o desempenho de filtros biológicos percoladores**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa (UFV). Viçosa. 2016.

MEDEIROS, M. J. **Avaliação dos aspectos e impactos ambientais do setor cerâmico na bacia do rio Itaqui - Município de Campo Largo, e propostas de controle ambiental: Estudo de caso**. Dissertação (Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 2012.

MEDINA, C.; ROJAS, M. I. S.; FRÍAS, M.; JUAN, A. Using ceramic materials in ecoefficient concrete and precast concrete products. In: SIKALIDIS, C. **Ceramics - Electric and Magnetic Ceramics, Bioceramics, Ceramics and Environment**. Rijeka: IntechOpen, 2011. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/books/advances-in-ceramics-electric-and-magnetic-ceramics-bioceramics-ceramics-and-environment/using-ceramic-materials-in-ecoefficient-concrete-and-precast-concrete-products>>.

METCALF & EDDY. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 5ª. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

MOCELLIN, I. C. M. **Uma contribuição para o desenvolvimento de estruturas porosas metálicas via metalurgia do pó**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em

Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis. 2012.

MORO, N.; AURAS, A. P. **Processos de Fabricação: Metalurgia do pó e o futuro da indústria**. Revista Tecnológica do Instituto Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 28. 2007.

MUNZ, D.; FETT, T. R-Curve Behaviour. In: MUNZ, D.; FETT, T. **Ceramics: Mechanical Properties, Failure Behaviour, Materials Selection**. Berlin: Springer, v. 36, 1999. p. 53-75.

PARKER, D.; LUTZ, M.; BENSGT, A.; ASPEGREN, H. Effect of operating variables on nitrification rates in trickling filters. **Water Environment Research**, v. 67, n. 7, p. 1111-1118, 1995.

POPOVICH, A.; SUFIAROV, V. Metal Powder Additive Manufacturing. In: SHISHKOVSKY, I. V. **New Trends in 3D Printing**. [S.l.]: IntechOpen, 2016. Cap. 10. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/chapters/50676>>.

PORTO, M. T. R. **Estudo de um Filtro Biológico Percolador Utilizado para o Pós-Tratamento de Efluentes de um Reator UASB, com Ênfase da Altura do Meio Suporte sobre a Estabilidade do Sistema**. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Belo Horizonte, p. 129. 2002.

QUESADA, D. E.; VILLAREJO, L. P.; SOTO, P. J. S. Introductory Chapter: Ceramic Materials - Synthesis, Characterization, Applications and Recycling. In: QUESADA, D. E.; VILLAREJO, L. P.; SOTO, P. J. S. **Ceramic Materials - Synthesis, Characterization, Applications and Recycling**. [S.l.]: IntechOpen, 2019. Cap. 1. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/chapters/65779>>.

RAJASULOCHANA, P.; PREETHY, V. Comparison on efficiency of various techniques in treatment of waste and sewage water – A comprehensive review. **Resource-Efficient Technologies**, v. 2, p. 175–184, 2016.

RIFFAT, R. **Fundamentals of wastewater treatment and engineering**. 1st. ed. Boca Raton: CRC Press, 2012.

SALVINI, V. R.; INNOCENTINI, M. D. M.; PANDOLFELLI, V. C. Correlação entre permeabilidade e resistência mecânica de filtros cerâmicos no sistema Al₂O₃-SiC. **Cerâmica**, v. 46, n. 298, p. 1-18, 2000.

SALVINI, V. R.; INNOCENTINI, M. D. M.; PANDOLFELLI, V. C. Influência das condições de processamento cerâmico na resistência mecânica e na permeabilidade dos filtros de Al₂O₃-SiC. **Cerâmica**, v. 48, n. 307, p. 121-125, 2002.

SANTOS, A. S. P. **Avaliação de desempenho de um filtro biológico percolador em diferentes meios suporte plásticos**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. Rio de Janeiro. 2005.

SCHAEFFER, L. **Conformação Mecânica**. 1ª. ed. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2004.

SILVA JUNIOR, J. E. S.; SILVA, G. H.; PASSOS, R. A.; BENINI, V. A. V.; BALDO, J. B.; MARTINS, C. A. **Elementos de alvenaria obtidos a partir de resíduos de louça sanitária**. XV CBECIMAT. Natal: Anais do XV Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. 2002. p. 946-951.

SILVA, A. G. P.; JÚNIOR, C. A. A sinterização rápida: sua aplicação, análise e relação com as técnicas inovadoras de sinterização. **Cerâmica**, São Paulo, v. 44, n. 290, p. 225-232, 1998.

SILVA, A. L. E.; MORAES, J. A. R.; MACHADO, E. L. Proposta de produção mais limpa voltada às práticas de ecodesign e logística reversa. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 29-37, Jan./Mar. 2015.

SILVA, G. D. A.; SILVA, J. C.; TABOSA, T. C. M.; ANDRADE, A. M. Q.; YADAVA, Y. P.; CAVALCANTI, V. P. **Aproveitamento de resíduos cerâmicos industriais na composição de massa para utilitários artesanais de mesa**. 58º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Bento Gonçalves: [s.n.]. 2014. p. 106-117.

TABAK, Y.; KARA, M.; GÜNAY, E.; YILDIRIM, S. T.; YILMAZ, S. **Ceramic tile waste as a waste management solution for concrete**. Proceedings of the 3rd International Conference on Industrial and Hazardous Waste Management. Crete, Greece: Techn. Univ. of Crete. 2012. p. 1-8.

THIESEN, G. T. S. **Influência da cinza pesada e do pó de ferro em compósitos sinterizados obtidos por metalurgia do pó e aplicados como meio de suporte em filtro biológico percolador**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre. 2018.

THÜMMLER, F.; OBERACKER, R. **An introduction to powder metallurgy**. Cambridge: Institute of Materials, 1993. 181-239 p.

TINKLEPAUGH, J. R. **Ceramics**. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1960.

TONETTI, A. L. et al. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas - referencial para a escolha de soluções**. 1ª. ed. Campinas: Biblioteca UNICAMP, 2018.

VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP. **Eclética Química**, v. 22, 1997.

VIANNA, M. R.; DE MELO, G. C. B. Utilização do fruto seco descascado da *Luffa cylindrica* como meio suporte em filtros biológicos percoladores: análise do desempenho quanto à redução da carga orgânica e considerações microbiológicas. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 24, n. 1, p. 13-20, Janeiro/Fevereiro 2019.

VOGT CERAMIC COMPONENTS. VOGT Pressing Operation. **VOGT Ceramic Components**, 2016. Disponível em: <https://www.vogt-ceramic.de/tl_files/medien/leistungen/Tabellen_2016/ENG/Vogt_Pressing-operation.pdf>. Acesso em: 11 Setembro 2021.

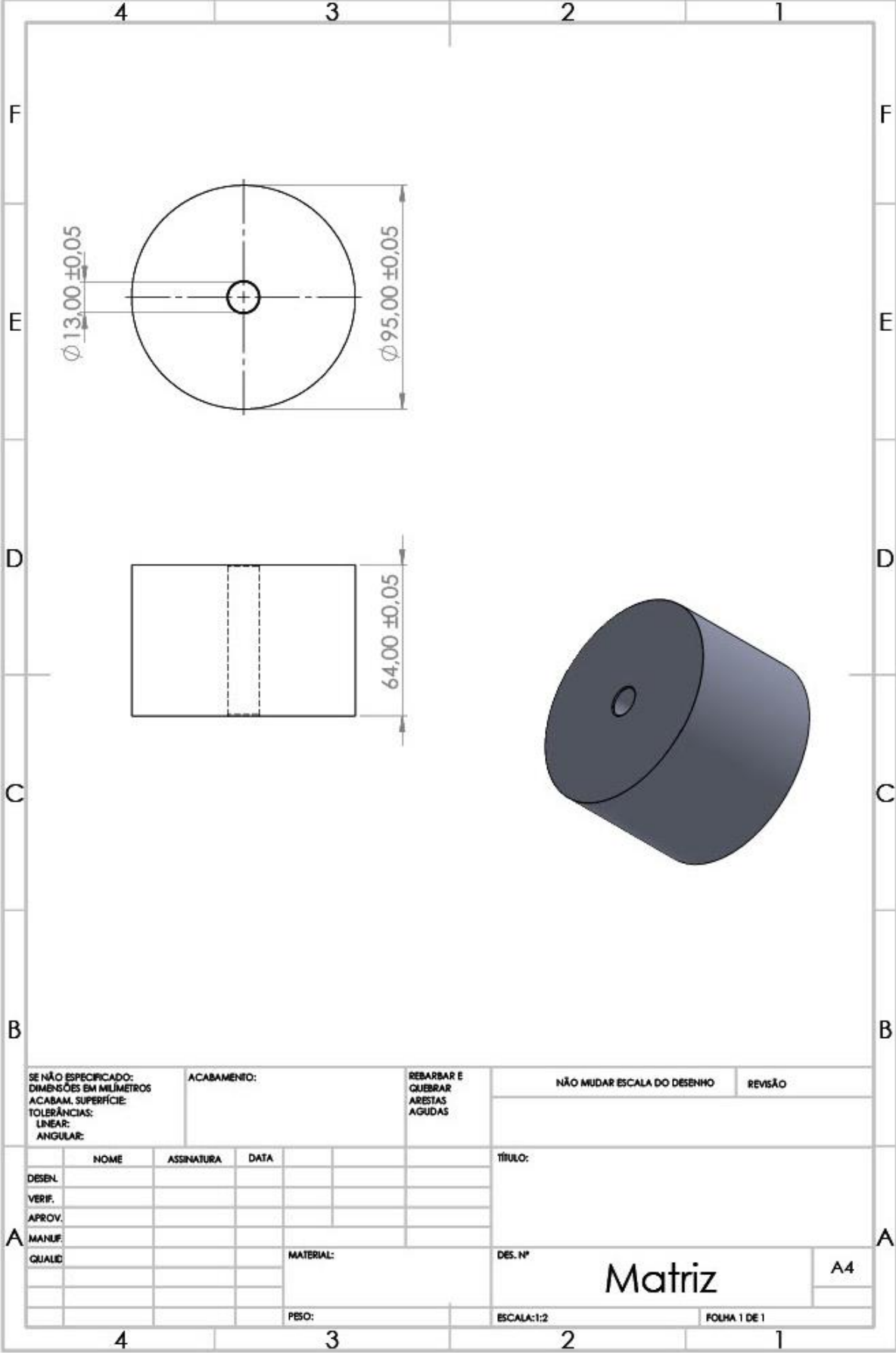
VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4ª. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, v. 1, 2014. 452 p.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L. **Biological wastewater treatment in warm climate regions**. 1st. ed. London: IWA Publishing, v. 1, 2005.

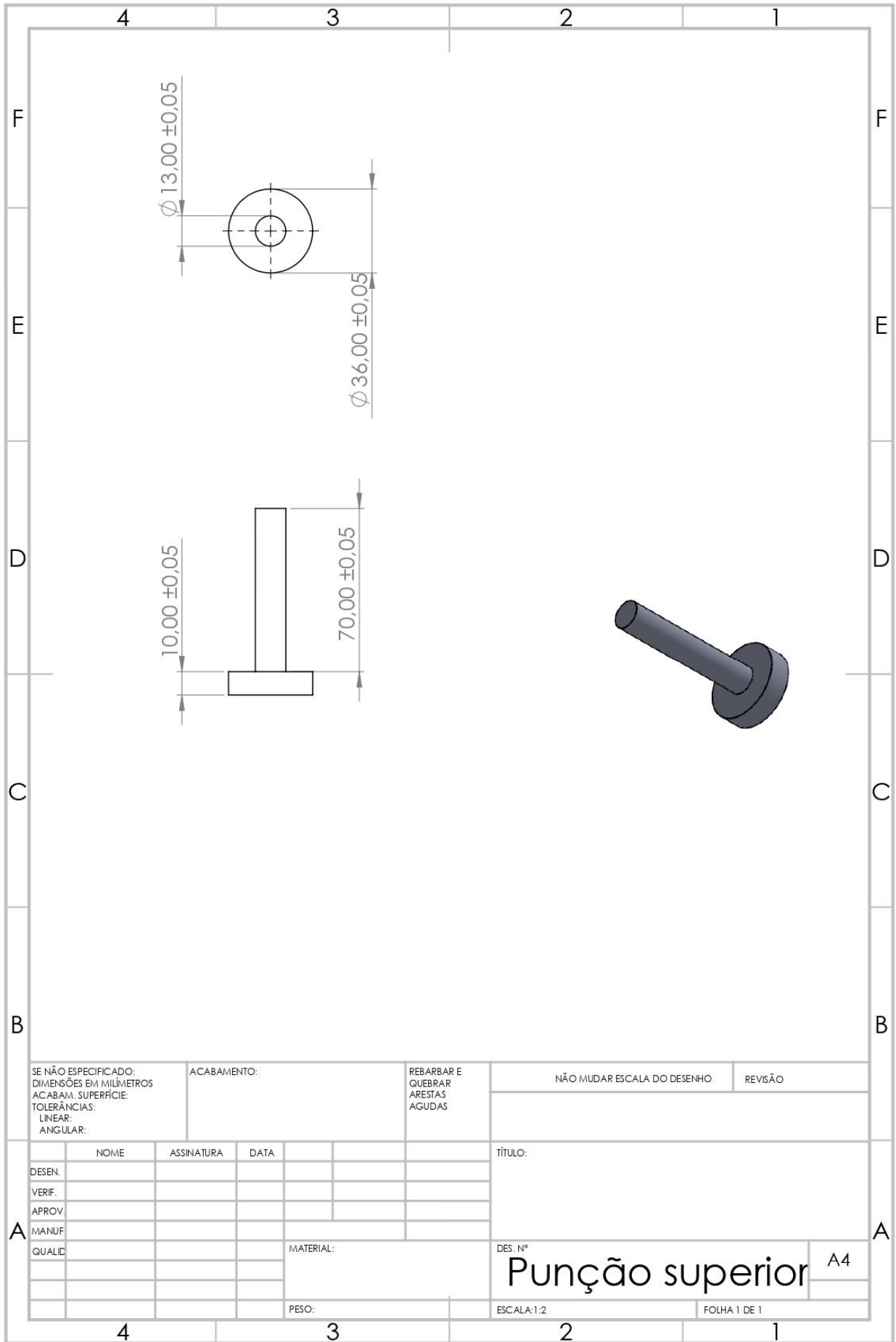
WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF); ASSOCIATION OF BOARDS OF CERTIFICATION (ABC). **Wastewater Treatment Fundamentals I: Liquid Treatment**. 1st. ed. Alexandria: Water Environment Federation, 2018.

WITT, M. R.; DA SILVA, S. P.; ALBACH, D. M. Destinação planejada de resíduos cerâmicos no contexto do design para sustentabilidade. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 4, n. 2, p. 35-42, abr. 2018.

ANEXO A – DESENHOS TÉCNICOS DA MATRIZ E PUNÇÕES UTILIZADOS



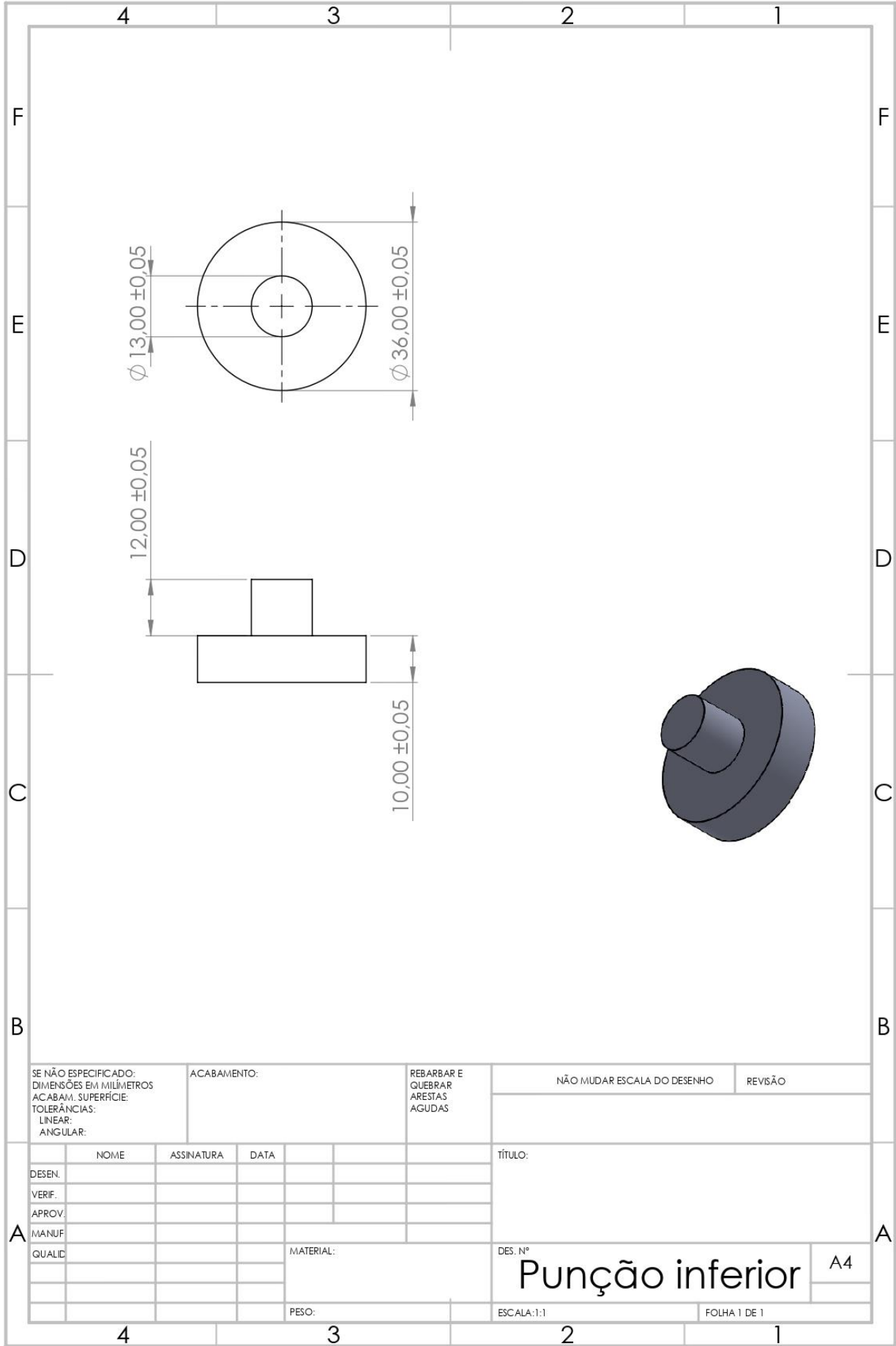
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:		ACABAMENTO:	REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS	NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO	REVISÃO
NOME	ASSINATURA	DATA		TÍTULO:	
DESEN.					
VERIF.					
APROV.					
MANUF.					
QUALID.			MATERIAL:	DES. Nº	A4
			PESO:	ESCALA:1:2	FOLHA 1 DE 1



SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:		ACABAMENTO:		REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS		NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO		REVISÃO	
						TÍTULO:			
						DES. N°			
						Punção superior			
						MATERIAL:			
						PESO:			
						ESCALA:1:2			
						FOLHA 1 DE 1			

	NOME	ASSINATURA	DATA		
DESEN.					
VERIF.					
APROV.					
MANUF.					
QUALID.					

TÍTULO:		DES. N°	
Punção superior		A4	
ESCALA:1:2		FOLHA 1 DE 1	



SE NÃO ESPECIFICADO:
DIMENSÕES EM MILÍMETROS
ACABAM. SUPERFÍCIE:
TOLERÂNCIAS:
LINEAR:
ANGULAR:

ACABAMENTO:

REBARBAR E
QUEBRAR
ARESTAS
AGUDAS

NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO

REVISÃO

	NOME	ASSINATURA	DATA		
DESEN.					
VERIF.					
APROV.					
MANUF.					
QUALID.					
				MATERIAL:	
				PESO:	

TÍTULO:

DES. Nº

Punção inferior

A4

ESCALA:1:1

FOLHA 1 DE 1