



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

ESTUDO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES E DO REÚSO DE ÁGUAS EM
INDÚSTRIAS DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS

PRISCILA VIEIRA OLIVEIRA E SILVA

BELO HORIZONTE

2018

PRISCILA VIEIRA OLIVEIRA E SILVA

ESTUDO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES E DO REÚSO DE ÁGUAS EM UMA
INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais,
como requisito parcial à obtenção do título
de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. M.Sc. André Luiz Marques Rocha

BELO HORIZONTE

2018

Silva, Priscila Vieira Oliveira e.

S---

Estudo do tratamento de efluentes e do reúso de águas em uma indústria de revestimentos cerâmicos/ Priscila Vieira Oliveira e Silva. – Registro: 2018.

58 f.: il; -- cm.

Orientador: Prof. M.Sc. André Luiz Marques Rocha

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2018.

1. Efluentes. 2. Reúso de águas. 3. Revestimentos cerâmicos. I. Silva, Priscila Vieira Oliveira e. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Estudo do tratamento de efluentes e do reúso de águas em uma indústria de revestimentos cerâmicos

CDD -----

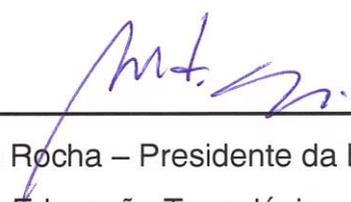
PRISCILA VIEIRA OLIVEIRA E SILVA

ESTUDO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES E DO REÚSO DE ÁGUAS EM UMA
INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais,
como requisito parcial à obtenção do título
de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Data de aprovação: 04/12/2018

Banca examinadora:



M.Sc. André Luiz Marques Rocha – Presidente da Banca Examinadora
Prof. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Orientador



D.Sc. Evandro Carrusca de Oliveira – Membro da Banca Examinadora
Prof. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais



M.Sc. Carlos Prates Renault – Membro da Banca Examinadora
Diretor Técnico - LIMNOS Hidrobiologia e Limnologia Ltda

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS, por ter me dado força para suportar as dificuldades que encontrei ao longo de toda essa jornada. Agradeço por todas as oportunidades que encontrei pelo caminho.

Agradeço ao meu noivo, futuro marido, amigo e companheiro, pelo incentivo, para que eu me levantasse depois de tantos tombos ao longo do caminho.

Agradeço ao meu Pai, minha mãe e minha irmã pelo apoio e incentivo durante todos esses anos de estudo e dedicação. Sem o apoio de vocês, nada disso seria possível.

Agradeço ao CEFET-MG pela oportunidade de poder estudar em uma das melhores instituições de ensino do país.

Agradeço aos amigos, que estavam juntos, nos momentos de tristeza e de alegria.

Agradeço ao meu orientador, Professor André, por compartilhar comigo todo seu conhecimento, pela paciência com os meus desesperos e pela amizade.

Agradeço aos demais Professores do CEFET-MG, todos contribuíram significativamente para o meu crescimento pessoal e profissional. Cada um com sua particularidade, trouxe uma experiência de vida e ensinamentos para sala de aula. Vocês são os melhores do mundo!

Agradeço ao Carlos Renault por todo apoio, disponibilidade de tempo e confiança em meu trabalho.

Enfim, agradeço pela oportunidade de me tornar Engenheira Ambiental e Sanitarista. Assim, minha primeira meta foi alcançada. Espero que todas as outras sejam conquistadas.

RESUMO

Silva, Priscila Vieira Oliveira e. Estudo do tratamento de efluentes e do reúso de águas em uma indústria de revestimentos cerâmicos. 2018. 58f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

Cada vez se tem mais indícios de que a relação disponibilidade de água e consumo de água está fora de equilíbrio. Atualmente, o setor industrial já utiliza práticas de reúso, principalmente em empreendimentos privados, porém ainda em iniciativas isoladas e em apenas algumas etapas do processo produtivo. Este trabalho pretende desenvolver um diagnóstico preliminar para implantação de um Programa de Conservação e Reúso de Água (PCRA) em uma indústria de revestimentos cerâmicos em que o processo produtivo é feito por via úmida e o produto de interesse é o porcelanato. A Estação de Tratamento de Efluentes Industriais estudada no empreendimento será a ETEI-II, pois o efluente dessa estação é utilizado como integrante do processo produtivo da etapa de polimento. Foi realizada uma coleta de dados secundários para o levantamento dos documentos existentes e relevantes, como subsídio para iniciar o entendimento do uso da água na indústria de revestimentos cerâmicos. Após concluir a fase de coleta de dados por meio de documentos, foram realizadas visitas “in loco” para detalhamento e aferição dos dados obtidos na análise documental e pesquisa de novas informações necessárias. Para caracterização e cálculo da eficiência de remoção dos contaminantes do efluente da ETEI-II foram coletadas amostras para realizar ensaios laboratoriais. Percebeu-se a necessidade de conhecer a série histórica dos parâmetros analisados em laboratório. É sugerido que sejam realizados monitoramentos constantes dos parâmetros de sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais, alcalinidade e dureza, com intuito de conhecer a característica real do efluente para gerar um efluente de melhor qualidade.

Palavras-chave: Efluentes, Reúso de águas, Revestimentos cerâmicos.

ABSTRACT

Silva, Priscila Vieira Oliveira e. Study of effluent treatment and water reuse in a ceramic tile industry. 2018. 58f. Undergraduate Thesis (Sanitation and Environmental Engineering degree) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

Each time there are more indications that the relation between disponibility of water and its consumption is out of balance. Nowadays, the industrial sector already practices the reusage, espacially in private enterprises, however they are isolated initiatives and only in some stages of the productive process. This dissertation pretends to develop a primarily diagnosis for the implemetation of a Conservation and Reusage of Water Program (CRWP) in a ceramic coating industry where the productive process is made by umid way and the product of interest is porcelain tile. The station of treatment of effluent industry studied on the enterprise is ETEI-II, because the station effluent is used as a member of the productive process of polishing. It had been collected from secondary data relevant documents, like subsidies to iniciate the understanding of water usage in the coating ceramic industry. After the conclusion of the data collection phase, it were mad technical visits "in loco" to better detail the data collected on the documental analisys and for reserch new necessary information. For the characterization and the efficiency calculus for the remotion of contaminants of the effluent ETEI-II, were collected samples for lab tests. It were realized the need to know the historic series for the analyzed parameters on the lab. It is suggested that the parameters of monitoring the constant total suspended solids, total dissolving solids, alkalinity and hardness, with the intent to know the real characteristics of the effluent to generate an effluent of better quality.

Keywords: Effluents, Water reuse, ceramic tiles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Usos potenciais de esgotos tratados	27
Figura 2 – Localização da indústria de estudo	30
Figura 3 – Fluxograma do processo produtivo de revestimentos cerâmicos.....	34
Figura 4 – Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI – I).....	41
Figura 5 – Canaletas da etapa de polimento	42
Figura 6 – Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI-II).....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classe de revestimentos cerâmicos por absorção de água.....	15
Tabela 2 – Agrupamento por classes dos possíveis contaminantes presentes nos efluentes	18
Tabela 3 – Consumo de água em uma indústria de revestimento cerâmico.....	18
Tabela 4 – Balanço Hídrico de consumo de água de reposição no processo produtivo	39
Tabela 5 – Parâmetros físico-químicos monitorados	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	13
2.1. Objetivo Geral	13
2.2. Objetivos Específicos	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 Revestimentos Cerâmicos	14
3.2 Efluentes industriais	17
3.3 Caracterização de efluentes industriais	19
3.4 Tipos de tratamentos	21
3.5 Reúso de águas	24
4. METODOLOGIA	29
4.1 Tipos de método de pesquisa	29
4.2 Unidade de análise (Estudo de caso)	29
4.2.1 Caracterização Ambiental	30
4.3 Coleta de Dados	31
4.4 Cálculo da eficiência do tratamento de efluentes	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5.1 Descrição do processo produtivo da indústria em estudo	33
5.2 Consumo de água e geração de efluentes	37
5.3 Caracterização do efluente da ETEI-II e eficiência	43
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	49
REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO

Estima-se que de toda reserva mundial de água doce, 12% encontra-se em territórios brasileiros. No entanto, a distribuição não é equilibrada por todo território, uma vez que, aproximadamente 80% da disponibilidade de água doce está concentrada na região norte do país que representa apenas 5% da população. Em comparação, a região sudeste que representa a maior parcela da população brasileira, possui disponibilidade de apenas 3% de água doce (ANA, 2018).

O percentual de aumento do uso de água cresceu coincidentemente com o rápido desenvolvimento das sociedades, transformando os padrões de uso da água em economias de mercado emergente. O uso de água para os setores industriais e de energia correspondem juntos por 20% da demanda de água mundial, porém esse valor pode ser ainda maior já que muitas indústrias se auto abastecem. Esse valor é apenas estimado, pois é difícil se obter de forma direta o valor exato, já que maior parte das indústrias não utiliza o sistema de distribuição urbana (MIERZWA; HESPANHOL, 2005; WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME, 2009).

Segundo o Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil (ANA, 2017), a média anual de água retirada (total de água captada para um uso) no Brasil é de 2098 m³/s, sendo que 9,2% desse total é utilizado pelo setor industrial e a média anual de água consumida (água retirada que não retorna diretamente para os recursos hídricos) é de 1109 m³/s, sendo 11,1% do total é utilizado pelas indústrias. No Estado de Minas Gerais no ano de 2015, a demanda para retirada de água para o setor industrial foi 17,95 m³/s. Para o ano de 2030 é previsto que a retirada de água tenha um aumento de 30%.

Com uma alta demanda de retirada e consumo de água, a região Sudeste sofre com a escassez de água quando o assunto é uso e consumo doméstico, fornecimento de energia, agricultura, indústria e outros. Cada vez se tem mais indícios de que a relação disponibilidade de água e consumo de água está fora de equilíbrio (GALVÃO; BERMANN, 2015). Este desequilíbrio está atribuído a fatores como a devastação e exploração, sem critérios, do solo e subsolo, a expansão demográfica, os desperdícios (uso inadequado dos recursos naturais), os fatores climáticos (aquecimento global) e a poluição dos rios, mares e outras fontes hídricas (MOURA, 2015).

Seja por sua propriedade de solvente universal ou por sua propriedade de trocas térmicas, a água está presente em diversas etapas de um processo industrial, por exemplo, limpeza de pisos, incorporação aos próprios produtos, refrigeração, aquecimento, higienização e diversos outros usos específicos de cada setor industrial (RIBEIRO; BASSOI, 2010). Com o aumento da produção industrial, a demanda pelo uso da água é acentuada. Utiliza-se desde grandes quantidades de água com elevado grau de pureza, até uma que não tenha sofrido nenhum tipo de tratamento, chamada de água bruta (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

Estima-se que em uma indústria, só para uso sanitário, um funcionário chega a consumir entre 30 e 95 L/d de água (VON SPERLING, 2014). Este volume equivale a um percentual aproximado de 12% do total consumido em uma indústria. Outros usos também podem ter seus volumes estimados em percentual, como 42%, caso realize etapa de resfriamento, 10%, caso utilize caldeiras, 16%, para usos gerais que aceitam recuperação, 10% lavagens gerais e 9% para usos gerais que não aceitam recuperação. Ainda são utilizados menos de 1% em lavagem de gases e menos de 1% são incorporados aos produtos (RIBEIRO; BASSOI, 2010).

A partir do consumo de água nas indústrias, efluentes líquidos são gerados, e por sua vez, devem ser lançados de acordo com as legislações em vigor. Dentre algumas legislações ambientais que precisam ser atendidas, em nível nacional, a Resolução CONAMA 357/2005 que estabelece além dos padrões de qualidade dos corpos receptores, apresenta, ainda, padrões para o lançamento de efluentes, e no caso de Minas Gerais, a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008, estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes no estado.

Em sua maioria, nas indústrias de revestimentos cerâmicos, os efluentes líquidos são gerados a partir da preparação de esmaltes e da linha de esmaltação e/ou no processo via úmida, na preparação da massa (moagem e atomização) quando os equipamentos são lavados (FERNANDES, 2002). De forma sucinta, os três elementos básicos para fabricação de revestimentos cerâmicos são as argilas, a água e o calor. Assim, é de grande importância que o controle realizado sobre o uso da água e o destino dos efluentes líquidos de uma indústria de revestimentos cerâmicos seja eficiente, garantindo o menor impacto possível ao meio ambiente (PENAGOS; MEJIA, 2013).

Diante disso, é fundamental que os mecanismos adotados para reduzir a poluição dos corpos hídricos sejam eficientes, eliminando custos desnecessários gerados pela operação e manutenção inadequadas. Ademais, é importante incluir nas novas parcelas do processo produtivo a prática de reúso de águas devido à escassez do recurso natural. Este termo, reúso de águas, passou a ser utilizado na década de 1980, pois o uso da água nos processos produtivos passou a encarecer o produto final. Dessa forma, as indústrias passaram a buscar soluções para aproveitar cada vez mais seus próprios efluentes (MANCUSO; SANTOS, 2003).

Com relação as legislações ambientais referentes ao reúso de água, pode-se citar a Política Nacional de Meio Ambiente, Lei nº 6.938/81, art. 2º, II e VI, que estabelece como um de seus princípios a “racionalização do uso da água” e “incentivos aos estudos e pesquisas de tecnologias orientadas para uso racional e a proteção dos recursos ambientais”, respectivamente, e a Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9.433, art. 2, a qual estabelece que “serão cobrados os usos dos recursos hídricos sujeitos à outorga”, alterando as bases econômicas e operacionais da utilização das águas, de modo que se promova uma maior importância aos conceitos de conservação e reúso de água.

Diante do exposto, faz-se necessário este estudo, devido aos processos de degradação da qualidade da água que vem acarretando sérios problemas de escassez, uma vez que a oferta de água não está em equilíbrio com a demanda. Portanto, este estudo justifica-se, pois o reúso de água é considerado uma opção inteligente no mercado mundial, no momento em que se preocupa com a oferta e demanda pelo consumo de água, o tipo de uso e o tratamento que esta recebe após ser utilizada em um específico setor industrial. Além disso, preocupa-se com a destinação dos subprodutos gerados a partir do tratamento de efluentes realizado dentro de uma unidade industrial.

Neste estudo, o foco será em reúso industrial, setor que atualmente já utiliza práticas de reúso, principalmente em empreendimento privados, porém ainda em iniciativas isoladas e em apenas algumas etapas do processo produtivo. Este setor tem buscado cada vez mais implantar sistemas de reúso de água em seus processos, pois a disponibilidade de água é cada vez menor, os tratamentos estão cada vez mais caros e a preocupação em preservar os recursos naturais vem crescente substancialmente (COSTA, 2010). Além disso, pode-se citar diversos benefícios a

partir da aplicação do reúso de água no setor industrial, como: maximização da eficiência na utilização dos recursos hídricos; a imagem ambiental da empresa; garantia na qualidade da água tratada; viabilização de um sistema “fechado”, com descarte mínimo de efluentes; credenciamento da empresa para futuros processos de certificação ambiental ISO 14000 e independência do sistema público e de suas instabilidades no abastecimento (ECOPOLO, 2003).

Devido aos diversos benefícios a partir da prática de reúso de águas, o Manual de Orientações para setor industrial foi elaborado pelo Sistema Federação das Indústrias do Estado de São Paulo/Centro da Indústrias do Estado de São Paulo com objetivo de disponibilizar a melhor e mais adequada orientação aos usuários industriais na implantação de programas de de conservação e reúso de água.

Este trabalho pretende desenvolver a etapa inicial para implantação de um Programa de Conservação e Reúso de Água (PCRA) em uma indústria de revestimentos cerâmicos em que o processo produtivo é feito por via úmida e produto de interesse é o porcelanato. A Estação de Tratamento de Efluentes Industriais estudada no empreendimento será a ETEI-II, pois o efluente dessa estação é utilizado como integrante do processo produtivo da etapa de polimento.

A partir da delimitação do tema apresentada, no próximo tópico são definidos o objetivo geral e os objetivos específicos deste estudo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Desenvolver diagnóstico preliminar para implantação de um Programa de Conservação e Reúso de Água (PCRA) em uma indústria de revestimentos cerâmicos.

2.2. Objetivos Específicos

- Descrever o processo produtivo com intuito de identificar o consumo de água, as fontes geradoras de efluentes e os tratamentos utilizados em cada etapa;
- analisar a característica dos efluentes da ETEI-II e a eficiência do sistema de tratamento;

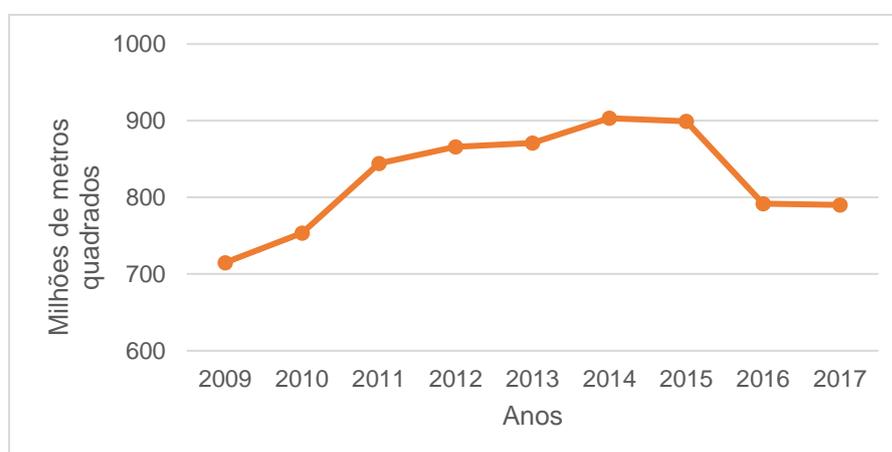
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente trabalho se baseou em uma revisão bibliográfica com o objetivo de compreender os assuntos envolvidos no tema, permitindo maior embasamento teórico e contribuição para a sua proposição. Nessa etapa foram discutidos os conceitos de revestimentos cerâmicos, efluentes industriais, tipos de tratamentos, legislações ambientais e reúso de águas. Tal pesquisa foi realizada por meio de arquivos eletrônicos, periódicos, normas, legislações, publicações e livros.

3.1 Revestimentos Cerâmicos

No Brasil, atualmente existem 93 empresas do setor de revestimentos cerâmicos. Essas empresas se concentram em maior parte nas regiões Sudeste e Sul do país, porém há uma expansão para o Nordeste. Com tantas empresas do setor distribuídas pelo país, cerca de 23 mil postos de empregos são gerados, além de aproximadamente 200 mil empregos indiretos ao longo da cadeia produtiva. Em 2017, como é possível visualizar no gráfico 1, o setor de revestimentos cerâmicos brasileiro produziu 790 milhões de metros quadrados para uma capacidade instalada de 1.055 milhões de metros quadrados. O Brasil ocupa o segundo lugar de produção e consumo no *ranking* mundial. As vendas totais em 2017, atingiram 775 milhões de metros quadrados, dos quais 11,6% foram exportados e 88,4% foram vendidos no mercado interno (ANFACER, 2018).

Gráfico 1 - Produção brasileira do setor de revestimentos cerâmicos ao longo dos anos



Fonte: Autoria própria, adaptado de ANFACER, 2018.

Revestimento cerâmico, segundo a ABNT NBR 13816:1997, é o conjunto formado pelas placas cerâmicas, pela argamassa de assentamento e pelo rejunte. As placas cerâmicas para revestimentos são materiais compostos de argila e outras matérias-primas inorgânicas, geralmente utilizadas para revestir pisos e paredes, podendo ser moldadas por extrusão ou por prensagem. Estas placas são secadas e queimadas à temperatura de sinterização. O termo extrusão refere-se ao processo de fabricação de placas cerâmicas para revestimento, cujo corpo foi conformado no estado plástico em uma extrusora, para posteriormente ser cortado. O termo prensado refere-se também ao processo de fabricação desse material, porém é utilizado quando o corpo é moldado em prensas, a partir de uma mistura finamente moída. As placas são incombustíveis e não sofrem com o efeito da luz. De acordo com a ISO 13006, podem esmaltadas, do tipo *Glazed* (GL) ou não esmaltadas, do tipo *Unglazed* (UGL).

Uma das principais classificações para os revestimentos cerâmicos compreende a média de absorção de água apresentada pelas peças. Dessa forma é possível determinar a qual classe o revestimento pertence. A tabela 1 mostra a classificação para os produtos conformados por prensagem, os quais são identificados pela letra B na coluna do grupo de absorção.

Tabela 1 - Classe de revestimentos cerâmicos por absorção de água

Tipologia do produto	Grupo de absorção	% absorção de água
Porcelanato	Bla	AA ≤ 0,5
Grés	B1b	0,5 ≤ AA ≤ 3,0
Semi-grés	B11a	3,0 ≤ AA ≤ 6,0
Semi-poroso	B11a	6,0 ≤ AA ≤ 10,0
Poroso	B111	AA > 10,0

Fonte: NBR 13818, 1997 e ISO 13006.

O processo produtivo de fabricação de revestimento cerâmicos se distingue em duas formas, por via úmida e por via seca. Por via úmida, praticamente em todos os casos, a matéria-prima é selecionada de forma a obter uma cor de queima branca para base produzida, dessa forma, o termo cerâmica branca essa associado ao processo por via úmida (COELHO, 1996; BARBA et al., 1997; BLASCO et al., 1997; MARINO, 1997). As matérias-primas constituintes do processo por via úmida são argilas, caulim, filito, rochas feldspáticas, talco, carbonatos e quartzo. Estas são

moídas e homogeneizadas em moinhos de bola, em meio aquoso, posteriormente a massa é seca e granulada em um atomizador para seguir para queima (MOTTA; ZANARDO; JUNIOR CABRAL, 2001).

Por via seca, é usado a massa simples ou natural (EMILIANI; CORBARA, 1999). As argilas de queima avermelhada formam a massa que é seca com umidade abaixo de 5%, fragmentada em moinhos de martelo e/ou pendulares, levemente umidificadas e encaminhadas ao restante do processo (MOTTA; ZANARDO; JUNIOR CABRAL, 2001). Os dois processos são bastante semelhantes, porém as principais diferenças estão nos tipos de matérias-primas e no tipo de moagem empregada.

Neste trabalho o foco será no processo por via úmida, processo pelo qual a indústria de revestimentos cerâmicos em estudo utiliza. Para fabricação do produto final são seguidas diversas etapas. O conjunto dessas etapas pode ser chamado de processo produtivo. As etapas são armazenamento das matérias-primas, peneiragem das matérias-primas, preparação da massa (moagem), atomização, preparação do pó atomizado, prensagem, secagem, estocagem, queima, escolha do produto final, esmaltaria e finalmente o polimento, esquadro e chanfro (SUPRAM/CM N°056, 2013).

O produto de interesse nesse estudo é o porcelanato, pois é o produto fabricado na indústria de revestimentos cerâmicos escolhida. Este produto possui especificação Bla, a qual significa material prensado com absorção de água menor ou igual a 0,5%. O porcelanato possui alta resistência mecânica com relação aos produtos químicos e pode ser decorado ou não em sua camada superior (ROSSO; CUNHA; ROJAS-RAMÍREZ, 2005).

De acordo com a ABNT NBR 15463:2013, o porcelanato possui seis classificações: (1) porcelanato técnico é definido como placa cerâmica não esmaltada para revestimento que apresenta absorção de água menor ou igual a 0,1%; (2) porcelanato técnico polido recebe polimento mecânico, o qual resulta em uma superfície com intensidade variável de brilho, em toda a superfície ou em parte dela, de acordo com o efeito estético desejado; (3) porcelanato técnico natural não recebe polimento; (4) porcelanato esmaltado é definido como placa cerâmica esmaltada para revestimento que apresenta absorção de água menor ou igual a 0,5%; (5) porcelanato retificado pode ser técnico ou esmaltado, recebe um desbaste nas arestas laterais e;

(6) porcelanato não retificado pode ser técnico ou esmaltado, que não recebe um desbaste nas arestas laterais.

Com a produção de revestimentos cerâmicos, são gerados efluentes industriais. No próximo tópico é apresentado o conceito de efluentes e os parâmetros de caracterização de interesse para esse estudo.

3.2 Efluentes industriais

De acordo com a Resolução CONAMA nº430/2011, efluente é o termo usado para caracterizar os despejos líquidos de diversas atividades ou processos. Segundo a Associação Brasileira de Norma Técnicas NBR 9800:1987 efluentes de processo industrial são despejos líquidos provenientes das áreas de processamento industrial, incluindo os originados nos processos de produção, as águas de lavagem de operação de limpeza e outras fontes, que comprovadamente apresentem poluição por produtos utilizados ou produzidos no estabelecimento industrial.

Segundo Von Sperling (2014), a carga poluidora gerada pelos efluentes industriais deve ser controlada, tanto para despejo do efluente tratado no corpo hídrico, quanto na rede pública de esgotos ou para reutilização do efluente no processo produtivo. Para escolha do tratamento mais adequado, é necessário conhecer a característica dos contaminantes que deverão ser removidos ou minimizados, qual será a destinação e o custo (MAZZER; CAVALCANTI, 2004).

Segundo Mierzwa e Hespanhol (2005), considerando de forma qualitativa, a maneira mais trivial de estimar a composição do efluente industrial é avaliando o tipo de matéria-prima utilizada. Dessa forma, é necessário conhecer detalhadamente todo o processo produtivo. De forma geral, os contaminantes existentes são divididos em seis classes, conforme mostra a tabela 2. O foco desse estudo será nos contaminantes das classes 1 e 4.

Tabela 2 – Agrupamento por classes dos possíveis contaminantes presentes nos efluentes

Classe	Consumo de água	Exemplos
1	Sais Inorgânicos dissolvidos	Íons metálicos e não metálicos
2	Gases dissolvidos	NH_3 ; H_2S
3	Composto orgânicos dissolvidos	Solventes, pesticidas, herbicidas, tensoativos e açúcares, entre outros
4	Partículas em suspensão	Areia, sílica coloidal, sais insolúveis, sólidos suspensos diversos
5	Microrganismos	Bactérias, vírus, protozoários, fungos, leveduras
6	Óleos e graxas	-

Fonte: Adaptado de Mierzwa e Hespanhol, 2005.

Os efluentes industriais podem ser provenientes de diversas etapas do processo produtivo. Em uma indústria de revestimentos cerâmicos é possível que se tenha consumo de água e por consequência geração de efluentes industriais em determinadas etapas do processo industrial, conforme descrito na tabela 3.

Tabela 3 – Consumo de água em uma indústria de revestimento cerâmico

Etapas do processo	Consumo de água
Armazenamento de matéria-prima	Irrigação de <i>stocks</i> de matéria-prima armazenados ao ar livre no solo e em zonas não pavimentadas
Moagem por via úmida	Matéria-prima; Agente de lavagem
Moagem por via seca	Matéria-prima
Atomização	Agente de limpeza; Sistemas de depuração de gás por via úmida
Conformação das peças	Veículo de transferência de calor
Preparação de esmaltes	Matéria-prima; Agente de lavagem
Esmaltagem	Sistema de depuração por via úmida; Agente de lavagem
Polimento, retificação e corte	Veículo de transferência de calor e limpeza dos resíduos da operação

Fonte: Autoria própria, adaptado de Associação Empresarial de Portugal, 2011.

3.3 Caracterização de efluentes industriais

Alguns parâmetros são comumente utilizados para caracterizar os efluentes industriais em uma indústria de revestimentos cerâmicos, como pH, temperatura, condutividade elétrica, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais, sólidos totais, turbidez, dureza, cor e alcalinidade.

De acordo com Von Sperling (2014), o pH se refere ao potencial hidrogeniônico, o qual representa a concentração de íons hidrogênio H^+ , demonstrando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade do efluente. Esse parâmetro é de extrema importância em etapas de tratamento como a coagulação, a filtração e o controle de corrosão (VASCONCELOS; GOMES, 2009).

A temperatura é a medida da intensidade de calor e interfere no desempenho do tratamento das águas, nas unidades de mistura rápida, no processo de floculação, decantação e filtração (VON SPERLING, 2014).

De acordo com Matos (2005), a condutividade elétrica em uma solução é proporcional à concentração iônica presente no meio, ou seja, permite estimar a concentração de sólidos totais dissolvidos e a salinidade. A cinética da coagulação é influenciada por altos valores de sólidos dissolvidos e a salinidade, pois a solubilidade dos precipitados de alumínio e ferro são aumentados. Além disso, quando são apresentados altos valores de sólidos totais dissolvidos, a corrosão é favorecida, pois é formado precipitados de carbonato de cálcio. De acordo com Lima (1986), a relação empírica a seguir, entre condutividade (C , $\mu\text{S}/\text{cm} = \mu\text{mho}/\text{cm}$) e a concentração de sólidos dissolvidos totais (SDT , mg/L) é realizada para estimar um parâmetro em função do outro.

$$\text{SDT} = kC$$

Equação 1

Os sólidos são formados por substâncias dissolvidas ou em suspensão, os quais podem ser de composição orgânica e/ou inorgânica (GIODARNO, 2004). De acordo com Nunes (2004), os sólidos dissolvidos são àquelas substâncias ou partículas que apresentarem dimensões inferiores a 10\AA . Os sólidos em suspensão possuem dimensões superiores a 1000\AA . Dessa forma, os sólidos totais são a soma

dos sólidos dissolvidos e dos sólidos em suspensão. Os sólidos em suspensão são ainda subdivididos em sólidos coloidais, sedimentáveis e flutuantes.

Os sólidos coloidais são aqueles mantidos em suspensão devido ao pequeno diâmetro e pela ação da camada de solvatação que impede o crescimento dessas partículas. Os sedimentáveis e os flutuantes são aqueles que se separam da fase líquida por diferença de densidade. Além do aspecto relativo a solubilidade, os sólidos são analisados conforme a sua composição, sendo classificados em fixos e voláteis. Os primeiros de composição inorgânica e os últimos de composição orgânica. (GIORDANO, 2004, p. 8).

A turbidez é considerada indicador de presença de sólidos em suspensão na água. A presença dos sólidos suspensos interfere na passagem da luz através da água, conferindo aparência turva à mesma. A origem natural da turbidez é de partículas de rocha, argila e silte. A turbidez é indicada em termos de Unidade de Turbidez (NTU – *Nephelometric Turbidity Unit*). A cor é responsável pela coloração da água e a forma constituinte responsável são os sólidos dissolvidos. A presença de cor na água é originada, normalmente, de minerais ou vegetações naturais, tais como substâncias metálicas (compostos de ferro e manganês), humus, algas, protozoários ou até mesmo de despejos industriais (VON SPERLING, 2014).

Alcalinidade é a capacidade da água em consumir ácido, devido à presença de bicarbonatos, carbonatos ou hidróxidos. A alcalinidade pode ser indicativa de lançamento de águas residuárias domésticas ou efluentes de tratamentos químicos. Esse parâmetro está relacionado com a coagulação, uma vez que a água pode agir como tampão, diminuindo a efetividade do agente coagulante e na prevenção de corrosões nos equipamentos e tubulações de ferro (MATOS, 2012).

A dureza pode ser considerada como um atributo conferido à água pela presença de alguns íons metálicos, principalmente cálcio e magnésio, sendo expressa em termos de carbonato de cálcio (AZEVEDO NETTO et al., 1987). Águas com dureza de até 75 mg/L de carbonato de cálcio são consideradas moles. De 75 a 150 mg/L de carbonato de cálcio são moderadamente duras e acima de 150 mg/L são consideradas duras (CETESB, 1973 apud PAVEI, 2006, p. 42). A dureza se classifica em dois tipos, dureza temporária e permanente, sendo que a primeira está relacionada com a presença de carbonatos e bicarbonatos de cálcio e magnésio e a segunda é devido a presença de sulfatos, cloretos e nitratos de cálcio e magnésio (PAVEI, 2006). A dureza

total é representada pela soma das durezas temporária e permanente. Teores elevados de dureza podem causar sabor desagradável, efeito laxativo e produzir incrustações nos sistemas (MOTA, 1997 apud CARVALHO, 2008). Em águas que a dureza supera a alcalinidade, parte de íons de cálcio e magnésio podem estar associados a presença de sulfatos, nitratos, cloretos e silicatos (MATOS, 2012).

3.4 Tipos de tratamentos

As operações físicas unitárias são definidas como métodos de tratamento nos quais prevalece a aplicação de forças físicas, como o gradeamento, a mistura, floculação, sedimentação, flotação e filtração. Os processos unitários, são métodos de tratamento nos quais remoção de contaminantes é realizada pela adição de produtos químicos ou por reações químicas, por exemplo a precipitação, adsorção e a desinfecção (METCALF; EDDY, 1991).

Devido a uma ampla variabilidade das suas características qualitativas, os efluentes industriais apresentam maior dificuldade de generalização com relação ao tratamento. Por exemplo, a toxicidade de determinados efluentes industriais podem inviabilizar o tratamento biológico (VON SPERLING, 2014).

De acordo com as características dos efluentes de uma indústria de revestimentos cerâmicos, ou seja, possuem elevada concentração de sólidos, implicando em altos índices de turbidez, os tratamentos físico-químicos são os mais indicados (COMISSÃO EUROPEIA, 2006).

Um tanque de equalização, facilita a estabilização da vazão quando esta varia consideravelmente ao longo do dia, além disso, no tanque de equalização pode ser adicionado substâncias para neutralizar o efluente. A técnica de neutralização é um processo unitário e é utilizada para ajustar o pH dos efluentes, geralmente na faixa entre 5 e 9. As substâncias ácidas são utilizadas para diminuir o pH, como o ácido sulfúrico ou ácido clorídrico, e as alcalinas são utilizadas para elevar o pH, como hidróxido de sódio ou carbonato de sódio ou hidróxido de cálcio (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

A técnica de coagulação é um processo unitário que de acordo com Nalco (1988), têm como principal objetivo neutralizar as cargas elétricas das partículas em suspensão, por meio de adição de substâncias químicas com cargas positivas. Conforme afirma Di Bernardo (2009) que a coagulação atua na desestabilização das

partículas coloidais ou neutralização de moléculas de substâncias húmicas, que apresentam carga residual negativa na água. O coagulante, então atua na redução das forças de repulsão entre as partículas com cargas negativas, permitindo a aproximação e aglomeração das partículas, e conseqüente formação de flocos. Segundo Máximo (2007), no processo de coagulação, os fatores operacionais são determinados pela mistura rápida do coagulante no efluente, pelo tempo de mistura rápida (TMR) e gradiente de velocidade da mistura rápida (GMR). Em sua maioria, as partículas em suspensão e as coloidais apresentam cargas elétrica negativas, gerando grandes forças de repulsão que as mantêm separadas. Com a adição do coagulante, as cargas se desestabilizam e se aglomeram progressivamente.

Após a coagulação, o processo de floculação permite o contato entre as partículas desestabilizadas, possibilitando uma junção em forma de flocos maiores e mais pesados. Dessa forma, entende-se que a floculação e a coagulação clarificam o efluente a partir do arraste do material em suspensão por agentes coagulantes (OLIVEIRA; REIS; NOZAKI, 2001). Segundo Di Bernardo (2009), o processo de floculação representa os choques entre as partículas formadas anteriormente, de modo a produzir outras de volume e densidade maiores que as anteriores. Tais flocos, podem, posteriormente, serem separadas do meio líquido por meio do processo de sedimentação (DI BERNARDO, 2009). De acordo com Máximo (2007), no processo de floculação, os fatores operacionais são determinados pelo tempo de floculação, ou seja, o tempo de mistura lenta (TML) e o gradiente de floculação (GML).

A eficiência do processo coagulação química, floculação e posterior sedimentação depende das características do líquido a ser tratado e sofre os efeitos do tipo e da dosagem de coagulante utilizados, do pH de coagulação, do tempo e do gradiente de velocidade de mistura rápida e de floculação, entre outros (DI BERNARDO & DANTAS, 2005). Segundo Vaz (2009), o mecanismo de coagulação-floculação também é sensível a fatores como o tipo e dosagem do coagulante, o pH, natureza das substâncias produtoras de cor e turbidez, entre outros.

Os coagulantes podem ser orgânicos ou inorgânicos, dentre os orgânicos podemos citar *Moringa oleifera* Lam, Quitosana, Tanfloc SG e Acquapol C1. Os inorgânicos podem ser, sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato ferroso e policloreto de alumínio. O custo unitário de um coagulante orgânico chega a ser aproximadamente 10 a 15 vezes maior que o custo de um coagulante inorgânico,

porém com a utilização dos coagulantes orgânicos a quantidade é reduzida, logo o custo acaba se equilibrando. Além disso, a utilização dos coagulantes orgânicos é vantajosa devido a redução da quantidade de lodo que é gerada e este lodo é mais denso. Desta forma sua desidratação e disposição final fica mais fácil (SANTOS FILHO; SANTA RITA, 2002).

Para que ocorra a coagulação com sais de alumínio e ferro, é necessário que o pH esteja satisfatório, ou seja, que chegue a uma faixa de pH ótimo de coagulação. A faixa ótima é determinada de acordo com o tipo de coagulante utilizado. Uma mistura rápida de poucos segundos é importante após a adição de um coagulante para garantir uma dispersão uniforme e promover o contato entre as partículas presentes na água bruta (RICHTER, 2009).

O Policloreto de Alumínio é um sal de alumínio polimerizado, que durante a hidrólise libera uma quantidade de ácido consideravelmente menor do que outros coagulantes como cloreto de alumínio, sulfato de alumínio e cloreto férrico. Dessa forma, ocorre uma menor variação de pH no efluente tratado ou um menor consumo de neutralizantes (LOPES, 2011).

Tanto na coagulação como na floculação o gradiente de velocidade e o tempo de agitação influenciam o processo global de coagulação-floculação. Deve-se haver uma otimização do gradiente de velocidade e do tempo para melhores eficiências. Quando se têm velocidades e tempos baixos pode haver a redução do tamanho dos flocos formados, dificultando a sedimentação. E para velocidades e tempos muito elevados os flocos podem sofrer uma quebra parcial, retardando a sedimentação (GEWEHR, 2012).

De acordo com Von Sperling (2014), o processo de tratamento físico denominado de sedimentação é uma operação física unitária, o qual é definido pela capacidade de separar partículas sólidas com densidade superior à do líquido circundante. As partículas tendem a ir para o fundo sob a influência da gravidade em um tanque em que a velocidade de fluxo da água é baixa. Conseqüentemente, o líquido sobrenadante torna-se clarificado e as partículas acumuladas ao fundo formam uma camada de lodo, que é removida constantemente. A sedimentação pode ser utilizada em várias etapas do tratamento de efluentes. No tratamento preliminar, pode-se utilizar como dispositivo a caixa de areia, com a finalidade de remover partículas inorgânicas de maior granulometria. No tratamento primário, utiliza-se comumente os

tanques convencionais ou as fossas sépticas. Com o objetivo de remoção de sólidos em suspensão do esgoto bruto. No tratamento secundário, a finalidade é remover sólidos biológicos a partir de decantadores secundários nos sistemas de lodos ativados, decantadores finais nos sistemas de filtros biológicos, decantadores finais nos sistemas de reatores anaeróbios de manta de lodo ou lagoas de sedimentação, após lagoas aeradas de mistura completa. A operação unitária de sedimentação também pode ser utilizada como complemento após uma precipitação química, ou seja, tem o objetivo de lapidar o efluente, principalmente quando se trata de efluentes industriais.

Os decantadores são dimensionados em função da taxa de escoamento, o tipo e as características do efluente. As taxas de escoamento empregadas para efluentes industriais variam entre 25 e 30 m³/m².d para decantadores secundários, que recebem efluentes floculados. Para decantadores primários, com objetivo de remover sólidos em suspensão sedimentáveis, as taxas de escoamento situam entre 25 e 30 m³/m².d, sendo possível eliminar de 40 a 60% dos sólidos em suspensão. Existem vários tipos de decantadores, por exemplo os mecanizados, que o lodo é removido com raspadores de fundo e os não mecanizados com remoção hidráulica de lodo, através de cargas hidrostáticas que não devem ser inferiores a 1,50m (NUNES, 2001).

3.5 Reúso de águas

O conceito de reúso de água está associado às tecnologias sustentáveis, as quais quando aplicadas, não estarão sujeitas apenas a condicionantes da relação custo-benefício, mas ao pensamento de que o único caminho de continuidade do desenvolvimento humano seja do desenvolvimento sustentável. A realização desta tecnologia ainda ocorre de forma tímida e limitada a contextos políticos, culturais, sociais, geográficos e econômicos comparados a curto prazo. Porém, a expansão do reúso de águas é uma realidade global (COSTA, 2010).

Os principais fatores que motivam a utilização da tecnologia de reúso de água são a redução da poluição dos cursos d'água, a elevada qualidade dos efluentes após o tratamento, o gerenciamento da demanda de água, principalmente em épocas de escassez, futuras fontes confiáveis de abastecimento de água para consumo humano e sensibilização da população para conservar os corpos hídricos e adotar práticas de reúso (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

A definição de reúso de águas, segundo Lavrador Filho (1987, p.25), é “o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original”. Mierzwa e Hespanhol (2005) definem reúso de água como o “uso de efluentes tratados para fins benéficos, tais como irrigação, uso industrial e fins urbanos não potáveis”, ou seja, “é a utilização dos efluentes tratados nas respectivas estações ou unidades de tratamento ou, ainda, o uso direto de efluentes em substituição à fonte de água normalmente explorada”. O reúso de água também pode ser entendido como o aproveitamento do efluente após uma extensão de seu tratamento (COSTA, 2010). Além dessas definições, Brega Filho e Mancuso (2003) também definem o reúso de água como “uma tecnologia desenvolvida em maior ou menor grau, dependendo dos fins que se destina a água e de como ela tenha sido usada anteriormente”.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (1973), a prática de reúso de água pode ser classificada como reúso indireto, reúso direto e reciclagem interna. A WHO ainda diferencia o reúso indireto intencional do não intencional. As expressões “intencional” por “planejada” e “não intencional” por “não planejada” foram substituídas por Montgomery (1985). Para uniformizar as terminologias de classificação de reúso, Lavrador Filho (1987), sugere que sejam utilizados os termos reúso indireto não planejado da água, reúso indireto planejado da água, reúso planejado de águas, reúso direto planejado das águas e reciclagem de água.

Este estudo seguirá a classificação de Lavrador e Filho (1987) por esta ser conceitualmente mais detalhada. As classes definidas por estes autores são: (1) reúso indireto não planejado da água ocorre quando a água utilizada uma ou mais vezes é lançada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, diluída, de forma não intencional e não controlada. O reúso de água é um subproduto não intencional do lançamento de montante. Após o lançamento no meio ambiente, o efluente passará por processos como autodepuração e sedimentação, além de ser misturado com outros despejos provenientes de diversas atividades humanas; (2) reúso indireto planejado da água ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são lançados de forma planejada nos corpos hídricos, para serem utilizados a jusante na forma diluída e controlada, para algum uso benéfico. Este tipo de reúso de águas também pressupõe que exista um controle de eventuais novos despejos de efluente nesse percurso. Isso garante que para eventuais misturas que possam ocorrer com outros

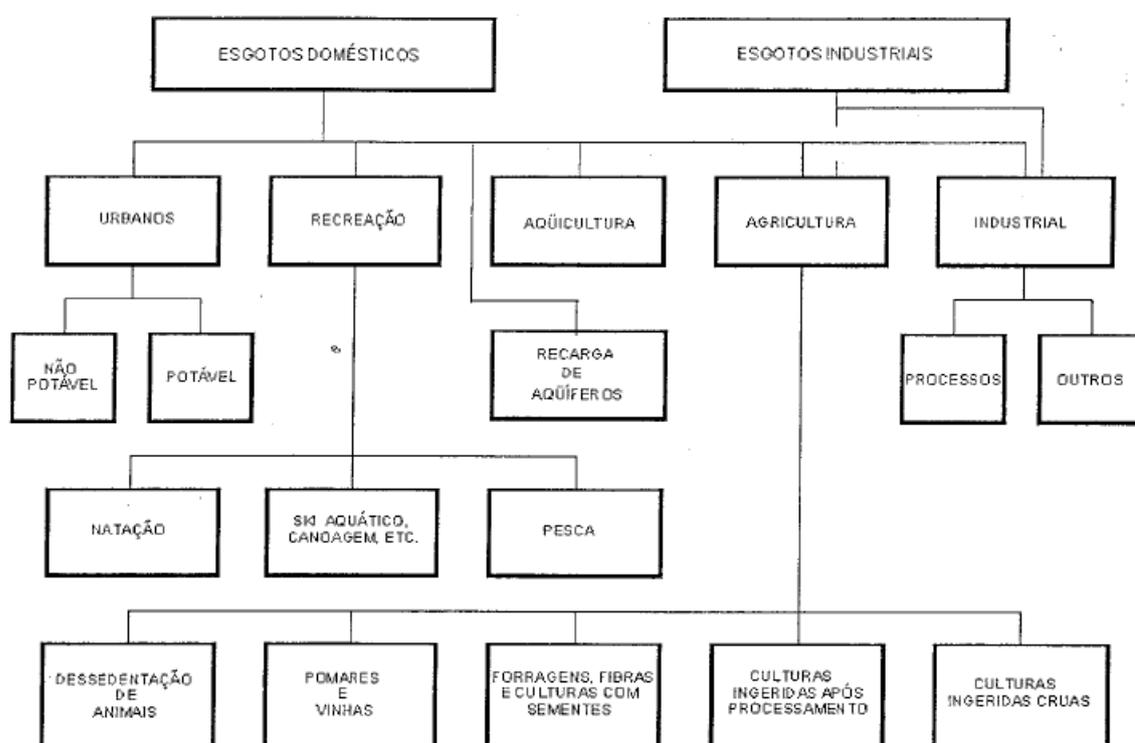
efluentes lançados no corpo hídrico, os requisitos de qualidade sejam os mesmos; (3) reúso planejado de águas ocorre quando o reúso é fruto de uma ação humana consciente, diante do ponto de lançamento do efluente para ser usado de forma direta ou indireta. Este tipo de reúso pressupõe que exista um sistema de tratamento de efluentes que atenda aos padrões de qualidade específicos para o novo uso que se deseja fazer da água; (4) reúso direto planejado das águas ocorre quando os efluentes depois de passar por um tratamento, serão encaminhados diretamente até seu local de reúso, ou seja, não são lançados no meio ambiente. Os casos de maior ocorrência desse tipo de reúso são para utilização na irrigação de agriculturas e em indústrias. Para uso potável, o efluente depois de tratado ainda seguiria para uma estação de tratamento de água e posterior distribuição; (5) reciclagem de água é considerada o reúso interno da água, antes de passar qualquer tipo de tratamento ou despejo no meio ambiente. É considerado um tipo de reúso suplementar de abastecimento do uso original. É um caso particular da classificação de reúso direto planejado. Alguns exemplos podem ser a irrigação paisagística (parques, cemitérios, gramados residenciais, etc.), irrigação em agriculturas (plantio de forrageiras, plantas alimentícias, plantas ornamentais, etc.), usos industriais (refrigeração, alimentação de caldeiras, água de processamento), recargas de aquíferos, usos urbanos não potáveis (sistemas de ar-condicionado, lavagem de veículos, lavagem de ruas, etc.), finalidades ambientais (aumento de vazões em cursos d'água, utilização em pântanos, terras alagadas e indústrias de pesca) e usos diversos (construções, aquiculturas, dessedentação de animais, controle de poeiras, etc.).

A definição de reúso ainda pode ser classificada por Westerhoff (1984) em duas outras grandes categorias, potável e não potável. Porém, na maioria dos efluentes disponíveis para reúso, existe a presença de organismos patogênicos e de compostos orgânicos sintéticos, principalmente nos efluentes provenientes de estações de tratamento de esgotos de grandes extensões, como indústrias. Dessa forma, a prática de reúso potável ainda está associada a riscos de grau elevado, tornando seu uso mais complicado, pois necessitam de tratamentos avançados que podem levar a inviabilidade econômico-financeira do abastecimento público e ainda não garantindo total proteção da saúde dos consumidores (HESPANHOL, 1999).

Caso ainda seja fundamental implementar reúso de água para fins urbanos potáveis, alguns critérios devem ser obedecidos, como utilizar somente sistemas de

reúso potável indireto (LAUER,1984), em que o esgoto passa por um tratamento e, posteriormente, é lançado em corpos hídricos para diluição, purificação natural, subsequente captação, tratamento e então ser utilizado como água potável (WESTERHOFF, 1984). A figura 2 apresenta um esquema dos tipos básicos de uso potencial do esgoto tratado, podendo ser implementados, tanto em áreas urbanas, como em áreas rurais (HESPANHOL, 1999).

Figura 1 - Usos potenciais de esgotos tratados



Fonte: Hespanhol, 1997.

Em indústrias, a prática de reúso pode ser aplicada de duas formas distintas (MIERZWA, 2002). Na primeira, chamada “reúso em cascata”, o efluente originado de uma determinada atividade é encaminhado diretamente para outra atividade sem passar por um tratamento, já que ele atende aos requisitos de qualidade para o uso. É significativo fazer a avaliação das características do efluente disponível e dos requisitos de qualidade da água no processo onde se pretende utilizar o efluente. A segunda, chamada de “reúso após tratamento”, consiste na utilização do efluente o qual foi submetido por um tratamento, atendendo aos padrões de qualidade exigidos para seu uso. A avaliação do potencial dessas duas formas é de suma importância

para que haja um estudo detalhado sobre a atividade que haverá o reúso. No reúso em cascata, por exemplo, em muitos casos, são exigidas alterações nos procedimentos de coleta e armazenagem de efluentes, enquanto no reúso após tratamento a principal preocupação é a concentração de contaminantes específicos, que reduz o potencial de reúso (MIERZWA & HESPANHOL, 2005).

No que tange ao reúso após tratamento, o monitoramento da concentração de Sais Dissolvidos Totais (SDT) é o mais adequado na identificação de aplicações potenciais de reúso de efluentes, pois é um parâmetro restritivo para o uso da água nas diversas aplicações na indústria, além de ser um contaminante difícil de ser removido pelos tipos de tratamento mais comuns. Desta forma, a avaliação do aumento da concentração de SDT no processo é importante para determinar o potencial máximo de reúso de efluente sem que ultrapasse os limites de qualidade requeridos e os limites máximos de lançamento (MIERZWA & HESPANHOL, 2005).

A salinidade da água de reúso pode ser medida pela Condutividade Elétrica, a qual está diretamente relacionada com a concentração de sais solúveis, pois a salinidade da água é capaz de conduzir uma corrente elétrica maior quanto maior for a concentração de eletrólitos. Os valores da condutividade elétrica são expressos em μS (microsiemens) /cm ou dS (decisiemens) /cm, os quais podem ser convertidos para miligramas por litro (mg/L) de sais dissolvidos totais no líquido (MANCUSO; SANTOS, 2003).

A seguir será apresentado a metodologia utilizada nesse estudo com intuito de atingir o objetivo geral e os objetivos específicos.

4. METODOLOGIA

Esse capítulo trata dos aspectos metodológicos que nortearão esta pesquisa. A seguir, são apresentados tipo, método e estratégia de pesquisa. São relatados também os passos da coleta e da análise de dados.

4.1 Tipos de método de pesquisa

Inicialmente, esta pesquisa foi de estratégia quantitativa e qualitativa, pois tem por objetivo quantificar dados e posteriormente analisá-los (BERRY; MALHOTRA, 2001) e em outra parte não se preocupa com representatividade numérica, mas com o aprofundamento da compreensão de um processo de uma organização (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

Com o objetivo de gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos, a pesquisa foi de natureza aplicada. Quanto aos objetivos, a pesquisa foi classificada como descritiva, pois se pretendeu descrever as características de um fenômeno e estabelecer relações entre as variáveis (GIL, 2009).

Quanto aos procedimentos técnicos foi realizado um estudo de caso, pois visa conhecer em profundidade o como e o porquê de uma determinada situação que se supõe ser única em muitos aspectos, procurando descobrir o que há nela de mais essencial e característico (FONSECA, 2002). Este procedimento foi escolhido por possuir apenas um caso e uma unidade de análise. O estudo de caso é compreendido como um método que abrange: lógica de planejamento, técnicas de coleta de dados e abordagens específicas às análises dos mesmos, ou seja, é uma estratégia de pesquisa abrangente (YIN, 2005).

4.2 Unidade de análise (Estudo de caso)

O caso escolhido foi uma das maiores empresas de revestimentos cerâmicos do Brasil, fundada nos anos 40, a qual produz e comercializa revestimentos cerâmicos e porcelanatos. O empreendimento de estudo opera desde 1965 e fabrica produtos cerâmicos não-refratários para uso estrutural (acabamento) na indústria de construção civil.

A empresa localiza-se na região Metropolitana de Belo Horizonte, no estado de Minas Gerais, conforme figura 3. Possui uma área total do terreno de 1.000.000,00 m², área útil de 270.000,00 m² e uma área construída de 38.235,72 m². As instalações estão localizadas em zona urbana e não se encontram inseridas em unidades de conservação. O empreendimento está situado na bacia hidrográfica federal do Rio São Francisco, na bacia hidrográfica estadual do Rio das Velhas, na Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) da bacia do Rio das Velhas (SF5) e na sub-bacia do Ribeirão do Onça e Rio das Velhas.

Figura 2 – Localização da indústria de estudo



Fonte: Google Earth Pro 7.3.2.5491

4.2.1 Caracterização Ambiental

O empreendimento em estudo é considerado como Classe 3 e de Porte Médio de acordo com a Deliberação Normativa (DN) estadual n°74/2004. De acordo com o Relatório Indicativo de Restrição Ambiental – Áreas Prioritárias para Proteção à Biodiversidade – do site do Geosisemanet, o empreendimento encontra-se no bioma Cerrado, para a avifauna, ictiofauna, invertebrados e mastofauna a classificação é considerada como categoria “baixa”, para herpetofauna é “muito alta” e a

vulnerabilidade natural é muito “alta”. De acordo com a base de dados do Centro Nacional de Estudo Proteção e Manejo de Cavernas (CECAV), não existe a presença de cavidades naturais próximo a área do empreendimento dentro de um raio mínimo de 11 km.

De acordo com o Relatório Ambiental gerado no Zoneamento Ecológico Econômico de Minas Gerais (ZEE-MG), o empreendimento encontra-se em uma área urbanizada, com vulnerabilidade natural alta, vulnerabilidade dos recursos hídricos média, vulnerabilidade do solo à contaminação muito baixa, com relação a vulnerabilidade da integridade da flora é considerada muito baixa e a vulnerabilidade da integridade da fauna muito alta.

4.3 Coleta de Dados

De acordo com o Manual de Conservação e Reúso de Água Para a Indústria – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, para se implantar um Programa de Conservação e Reúso de Água é necessário primeiramente conhecer de forma completa, qualitativamente e quantitativamente, o uso da água em todas os setores da indústria. O manual utilizado será do Estado de São Paulo, pois em Minas Gerais ainda não foi desenvolvido algo similar.

Foi realizada uma coleta de dados secundária com o levantamento dos documentos existentes e relevantes, como subsídio para iniciar o entendimento do uso da água na indústria de revestimentos cerâmicos. O levantamento dos documentos disponíveis foi a forma para obtenção dos dados referentes ao consumo de água (qualidade e quantidade) e geração de efluentes na indústria estudada. O Parecer Único da Superintendência Regional de Regularização Ambiental Central Metropolitana (SUPRAM-CM) foi o documento norteador deste estudo. Outros documentos da indústria estudada, como, etapas do processo produtivo de revestimentos cerâmicos, leitura dos hidrômetros, Relatório de Controle Ambiental (RCA) e Plano de Controle Ambiental (PCA) também foram utilizados para obtenção dos dados.

Após concluir a fase de coleta de dados por meio de documentos, foram realizadas visitas “in loco” para detalhamento e aferição dos dados obtidos na análise documental e pesquisa de novas informações necessárias. Com as visitas “in loco”

também foi possível avaliar as condições dos sistemas hidráulicos, as perdas físicas, os usos inadequados e os usuários envolvidos. Para caracterização do efluente da ETEI-II, foram coletadas amostras para realizar ensaios laboratoriais. As amostras foram coletadas na entrada e na saída da Estação de Tratamento de Efluentes Industriais II – Etapa de polimento, com frascos preservados de acordo com cada parâmetro. Após amostragem, os frascos foram acondicionados refrigerados até o laboratório. As análises foram realizadas por um laboratório acreditado na norma da ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017. Com os resultados das análises em mãos é possível calcular a eficiência de remoção de alguns parâmetros avaliados.

4.4 Cálculo da eficiência do tratamento de efluentes

Para realizar o cálculo de eficiência dos sistemas de tratamento de efluentes da indústria em estudo, será utilizada a equação 1 proposta por Nunes (2004, p.240):

$$E = \frac{C_e - C_s}{C_e} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

E: eficiência de remoção (%)

C_e: Concentração do parâmetro a ser analisado na entrada do sistema (afluente);

C_s: Concentração do parâmetro a ser analisado na saída do sistema (efluente);

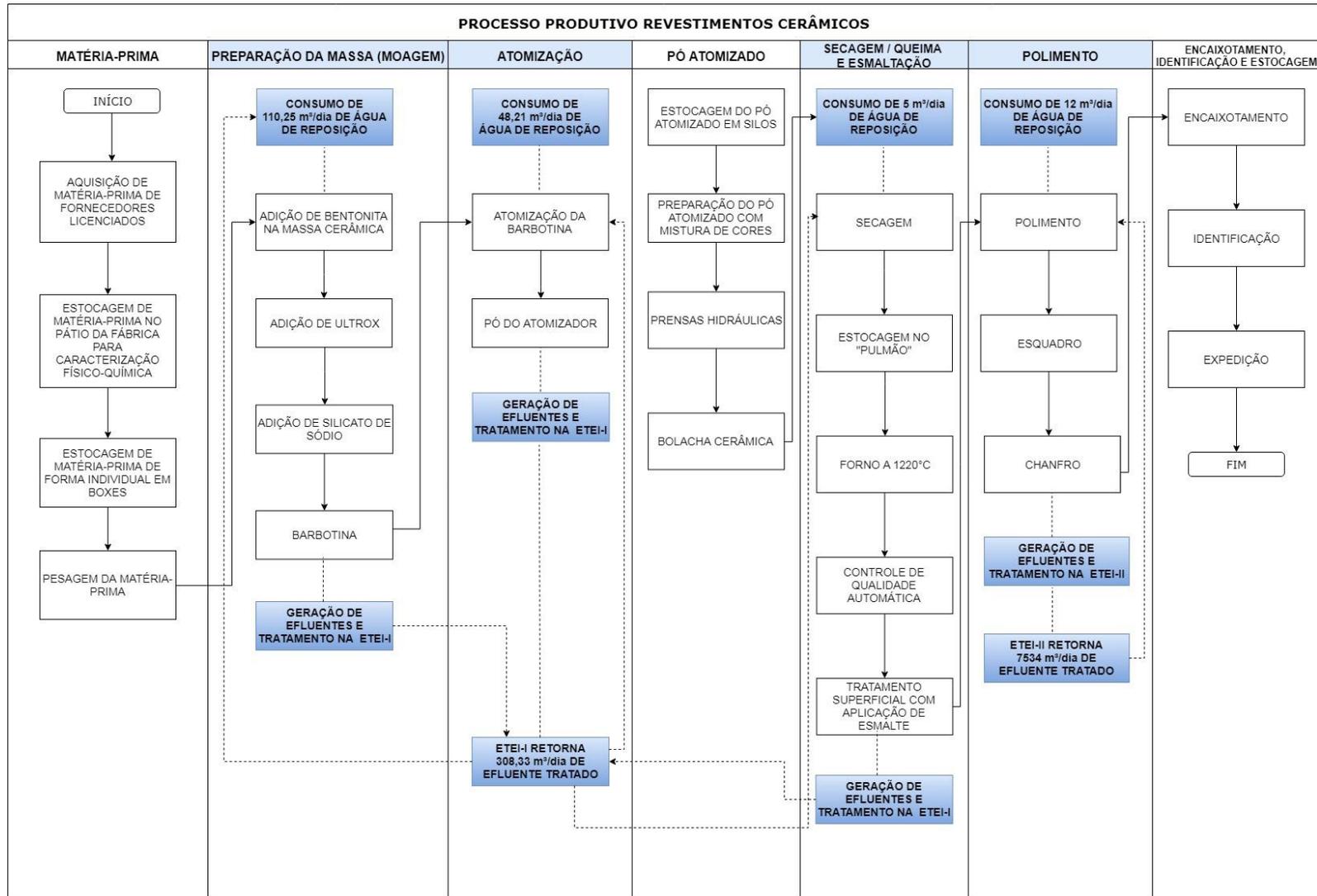
A seguir serão apresentados os resultados encontrados durante o estudo e as discussões pertinentes.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Descrição do processo produtivo da indústria em estudo

Para descrever o processo produtivo da indústria em estudo, foi desenvolvido um fluxograma do processo de produção de revestimentos cerâmicos e todas as etapas foram descritas detalhadamente. Dessa forma, foi possível identificar todos os setores com demanda pelo uso da água e os tratamentos utilizados para os efluentes gerados. Na figura 3 é apresentado o fluxograma do processo produtivo da indústria de revestimentos cerâmicos em estudo, que está dividido em 7 etapas, sendo a primeira Matéria-prima, a segunda Preparação da Massa (moagem), a terceira Atomização, a quarta Pó Atomizado, a quinta Secagem, Queima e Esmaltação, a sexta Polimento e por fim a etapa de Encaixotamento, Identificação e Estocagem. Para cada uma das etapas, são utilizados equipamentos distintos como o Atomizador NIRO e CIBEC, torre tecnológica com silos de armazenamento, 05 moinhos de massa com capacidade de 32.000 Lts, 26 moinhos de massa com capacidade de 12.000 Lts, 09 tanques agitadores 4,5 m³, correias transportadoras, bombas de barbotina, silos de abastecimento, 02 prensas hidráulicas Marcam SITI modelo STAR 4608 com capacidade de 4000T, 02 prensas Magnum marca SITI modelo 1503, 01 secador a rolos marca SITI a 3 canais, 02 máquinas para alimentação de prensas Marcam LB modelo Dual, 01 forno a rolo marca Siti modelo F1NH, 03 máquinas serigráficas rotativas modelo MultiRoll 650 Marca Euromec, 01 máquina SPAZZOLA TRICE c/ 12 satélites da arca Euromec, 01 máquina automática para polimento modelo CEMAR EVERST 620, 01 máquina automática para polimento da marca Ancora, 01 máquina de polimento da marca Ancora com 20 cabeças, 01 máquina SGROSSATORE da marca Ancora com 06 cabeças, 01 máquina Dico Planar da marca Sistem com 4 metros, 01 máquina esquadadora da marca BMR modelo 1354, 01 Máquina esquadadora da marca BMR mod. BS 98F cm 24 cabeças, 01 máquinas esquadadora da marca BMR modelo BS 98F com 24 cabeças e 01 máquinas de polimento a cru da marca Ancora.

Figura 3 – Fluxograma do processo produtivo de revestimentos cerâmicos



Fonte: Autoria própria

Os dados a seguir foram obtidos a partir do Parecer Único N°056 da SUPRAM/CM (2013), referente a licença de operação da indústria de revestimentos cerâmicos estudada. A seguir, as etapas do processo produtivo serão descritas detalhadamente conforme fluxograma (figura 3).

Conforme primeira etapa do fluxograma, as matérias-primas utilizadas pela empresa estudada, são adquiridas de empreendimentos terceirizados e licenciados, que fazem a extração de minerais. As matérias-primas utilizadas no processo produtivo da indústria de revestimento cerâmicos são: aditivo ColemanitaUlex, alumina calcinada A1, areia feldspática AFM 108, areia MIX CKS 6825, arenito BJA, argila AC 71, argila HE 90, argila SM 119, bentonita Peres 100, caulim branco TB 04, composto AF 41, composto FMO 431, composto FMO 440, corante amarelo CP AM 58 Itaca, corante azul Cla. CP AZ 24 Itaca, corante azul Esc. CP AZ 203 Itaca, corante azul escuro CP AZ 203 Itaca, corante cinza Esc CP GR 351 Itaca, corante cinza Esc CP GR 351 Itaca, corante metal AP MS102 Itaca, corante preto CP NE 17 Itaca, corante verde CP VE 18 Itaca, feldspato de potássio FE 02, feldspato de potasio FJC 04, feldspato de sódio AF 102, impermeabilizante Hiper 2000, impermeabilizante Black, Impermeabilizante K5, Impermeabilizante K8 50%, impermeabilizanteT2N, impermeabilizante K8 50%, impermeabilizante T2N, produto químico Mafloc AM 1000, rolo refratário 50x40x3350mm, rolo refratário 50x40x3580mm, sal refinado embalagem de 1 kg, sal solúvel Metcolour, sal solúvel Metfluid, sal solúvel Metscreen, silicato de sódio, tripolifosfato de sódio e tripolifosfato de sódio.

As substâncias como areia feldspática, argilas e caulim precisam ter alto teor de pureza, devem ser isentas de material orgânico, baixo teor de óxido de ferro e outros contaminantes. É necessário realizar uma extração seletiva e um beneficiamento prévio para que se alcance os parâmetros mínimos de pureza. Análises físico-químicas são realizadas para definição das matérias-primas e enquanto isso são armazenadas no pátio da fábrica. Posteriormente, são estocadas em boxes de forma individual. Em seguida as matérias-primas são pesadas e transportadas por correias até serem descarregadas em moinhos para o processo de cominuição (fragmentação). Até essa etapa, não há consumo de água e consequentemente não há geração de efluentes.

Na segunda etapa, exibida no fluxograma, é realizada a preparação da massa cerâmica (moagem). Nesta etapa é adicionado a bentonita, com objetivo de dar

plasticidade (fundamental para melhor prensagem), também é adicionado ultrox (corante natural), para clarear a massa e silicato de sódio para defloculação. O produto final do processo de moagem é a barbotina, produto líquido que é estocado em tanques agitadores. Para realizar a moagem, é necessário inserir água nos 26 moinhos que possuem capacidade de 12 mil litros e nos 5 moinhos que possuem capacidade de 32 mil litros. Nessa etapa do processo produtivo são consumidos 110,25 m³/dia de água, conforme balanço hídrico apresentado na tabela 4.

Na terceira etapa (figura 3), a barbotina é conduzida por bombas até o tanque de serviço do atomizador. Este é composto de um gerador de ar quente e bombas de alta pressão, que lançam a barbotina no interior na forma de *spray*. Após encontrar ar quente que é gerado, a barbotina tem sua parcela de água evaporada para o exterior do processo em forma de vapor e a parte sólida cai sobre uma correia transportadora na parte inferior do atomizador. O consumo de água nessa etapa é para bater massa pó do hidro ciclone dos atomizadores, para fazer a limpeza das câmaras dos atomizadores e para fazer o resfriamento do óleo bomba de barbotina. O efluente gerado nessa etapa do processo produtivo contém sólidos em suspensão com características da barbotina diluída, apresentando na sua composição os resíduos das matérias-primas originais, sendo esses areia, caulim, argila e quartzo. São consumidos 48,21 m³/dia de água nessa etapa.

Na quarta etapa, conforme fluxograma (figura 3), o pó atomizado é encaminhado para secagem em silos e é preparado para prensagem com mistura de cores, inclusão de grãos de diversos tamanhos e formas, para obtenção dos efeitos estéticos desejados. Em prensas hidráulicas, o pó atomizado é lançado em cavidades, onde é submetido à alta pressão e então apresentará sua forma definitiva, caracterizada por baixa resistência mecânica e presença de umidade. Bolacha cerâmica é o nome dado ao processo produtivo final dessa etapa. Nessa etapa não há consumo de água e geração de efluentes.

Na quinta etapa (figura 3), a etapa de secagem tem como objetivo retirar a umidade existente e melhorar a resistência mecânica, realizando a secagem das peças. A estocagem é feita em um “espaço” denominado de pulmão. Possui esse nome, pois visa alimentação constante dos fornos, evitando perda de eficiência do equipamento. Há consumo de água nessa etapa do processo produtivo para limpeza do setor e da grelha prensa, conseqüentemente há geração de efluentes.

O produto conformado segue para o forno, que através de curva de queima e atmosférica interna controlada, efetua a queima do substrato. Para que essa queima ocorra de forma adequada, é necessário que o forno atinja uma temperatura de 1220 °C e que esteja adaptado à capacidade térmico e isolamento refratário. Na saída do forno existe uma máquina que realiza automaticamente a verificação de defeitos, características dimensionais e planaridade do produto. Na etapa de queima a demanda de água possui a finalidade de teste de absorção e limpeza do setor.

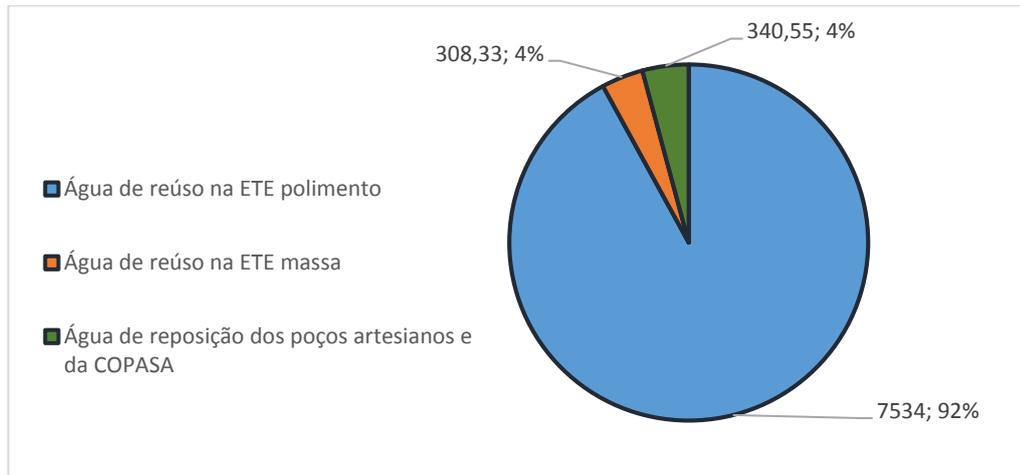
Alguns produtos têm a necessidade de passar pela etapa de esmaltação, onde é realizado o tratamento superficial com a aplicação de esmalte, sais solúveis e decoração com uma impressora digital. Em alguns produtos são aplicados granilhas (quartzo). Nas etapas de secagem, queima e esmaltação são consumidos 5 m³/dia de água.

O porcelanato técnico e alguns esmaltados necessitam seguir para a sexta etapa (fluxograma, figura 3), o polimento. Existe uma esquadra acoplada à máquina de polimento, que faz os trabalhos de enquadramento e chanframento ao mesmo tempo. A etapa de polimento retira os riscos e defeitos e dá brilho a superfície do produto final, aumentando o valor agregado. Utilizando cabeças polidoras em alta rotação composta de materiais abrasivos, o polimento das peças é todo realizado a vida úmida, o que indica o seu maior consumo, conforme apresentado na tabela 4. O consumo de água de reposição dessa etapa é de 12 m³/dia, além de 7534 m³/dia provenientes de água de reúso.

Na última etapa, o produto acabado, é então embalado e encaminhado para expedição. Não há consumo de água nessa etapa.

5.2 Consumo de água e geração de efluentes

A partir desse tópico, o consumo de água, a geração e o tratamento dos efluentes serão descritos detalhadamente. O consumo de água é proveniente da captação de seis poços subterrâneos outorgados e também recebe distribuição de água da concessionária local (Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA). O consumo de água de reposição no processo produtivo, conforme tabela 5, é estimado no total em 340,55 m³/dia e considerando as águas de reúso, conforme gráfico 2, o consumo total na indústria é de 8182,88 m³/dia.

Gráfico 2 – Consumo de água (m³/dia)

Fonte: Autoria própria, adaptado dos dados da indústria estudada.

Tabela 4 – Balanço Hídrico de consumo de água de reposição no processo produtivo

Etapa do processo	Consumo (m³/dia)	Detalhamento dos pontos de consumo	% Consumo
Entrada de água dos poços artesianos	340,50	-	
Matéria-prima	0	Não há consumo de água	0,00
Preparação da massa (moagem)	110,25	Adição de água para preparação da massa nos moinhos	32,37
Atomização	48,21	Bater massa pó do hidro ciclone dos atomizadores, fazer a limpeza das câmaras dos atomizadores e fazer o resfriamento do óleo bomba de barbotina	14,16
Pó atomizado	0	Não há consumo de água	0,00
Secagem, queima e esmaltação	5	Limpeza do setor, grelha da prensa, troca de produção, teste absorção e limpeza setor.	1,47
Polimento	12	Limpeza do setor	3,52
Encaixotamento, identificação e estocagem	0	-	0,00
ETE massa	31,86	Reposição (perdas de processo/lodo e preparação do polímero)	9,36
ETE polimento	64,95	Reposição (perdas de processo/lodo e preparação do polímero)	19,07
Torre de resfriamento	6	Reposição na torre para resfriamento do óleo das bombas de barbotina.	1,76
Consumo Humano	20,58	Refeitório, vestiários, banheiros, administrativo, cantina, transportadores, quiosque	6,04
Limpeza e irrigação dos jardins	32	Ruas, pátios, jardins e áreas verdes	9,40
Hidrante de incêndio	1,60	Simulação e combate ao incêndio	0,47
Perdas	8,05	Vazamento de tubulações, ladrão das caixas de água	2,36
Consumo total dos poços artesianos	340,50	-	99,98
Consumo concessionário local (COPASA)	0,05		0,02
Consumo de água de reposição	340,55	-	100

Fonte: Autoria própria, dados da indústria estudada.

Com o consumo de água no processo produtivo são gerados efluentes que são tratados em duas Estações de Tratamento de Efluentes Industriais distintas. A primeira, ETEI-I, têm o objetivo de tratar os efluentes das etapas de preparação massa (moagem), atomização, secagem, queima e esmaltação. A segunda, ETEI-II, é responsável por tratar os efluentes da etapa de polimento. A ETEI-II é a estação de foco desse estudo, no entanto o tratamento da ETEI-I será descrito, pois o objetivo ao final desse estudo é desenvolver um Programa de Conservação e Reúso da Água de todo o processo produtivo.

O tratamento utilizado na Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI-I), figura 4, é do tipo físico-químico. Todo efluente é encaminhado por canaletas para tanques subterrâneos. Este efluente armazenado nos tanques é bombeado para outro tanque (tanque de equalização) que possui agitadores para homogeneização. Posteriormente, o efluente é conduzido através de bombas centrifugas para outros dois tanques (floculação), para separação do material sólido e onde é feita a dosagem de reagente químicos (polímero aniônico e policloreto de alumínio). Após o processo de decantação e floculação, válvulas pneumáticas são acionadas e então a água clarificada segue até o decantador de lamelas. No decantador, o efluente tratado é encaminhado por gravidade até uma caixa de armazenamento intermediária e então é bombeada até uma caixa d'água de concreto, para ser novamente utilizada em circuito fechado. A ETEI-I proporciona o tratamento mensal de aproximadamente 6300 m³ de efluente.

O material decantado é armazenado no tanque de lodo, o qual possui um misturador lento que evita a compactação do material que posteriormente é bombeado para desidratação em um filtro prensa de 32 câmaras com abertura automática. A torta (material desidratado) é classificada segundo a NBR 10004 como Classe IIA e é conduzido por correia transportadora até o galpão de armazenamento. Parte desta torta é reaproveitada no processo produtivo de porcelanato e disposta em indústria cimenteira parceira e em outras indústrias cerâmicas.

Figura 4 – Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI – I)



Fonte: Acervo pessoal.

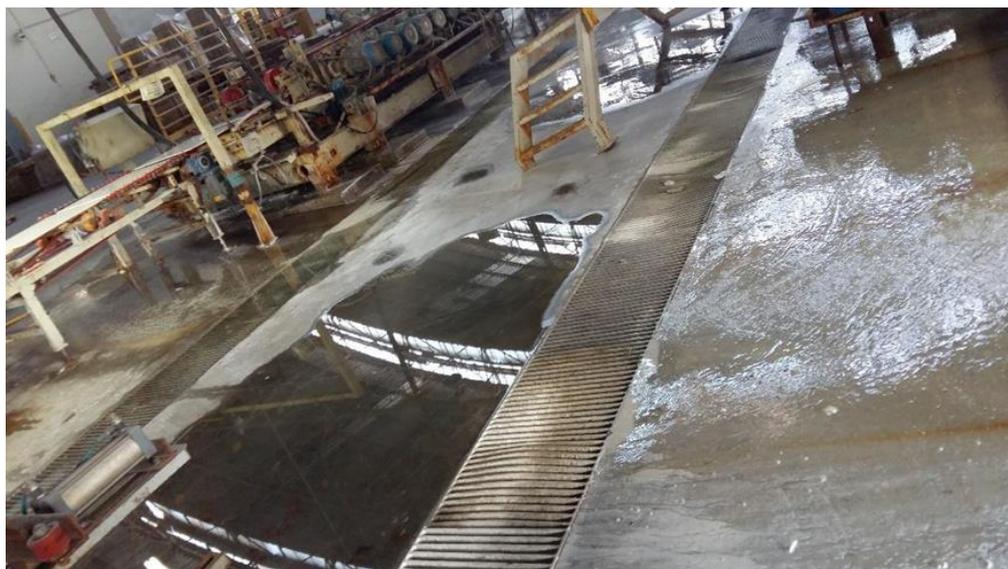
O efluente tratado na Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEII-II), etapa de polimento, é incorporado ao processo produtivo, diferentemente do efluente tratado na ETEI-I que é utilizado em circuito fechado nos lavadores de gases, limpeza do piso e equipamentos. A etapa de polimento é a que demanda maior consumo de água, dessa forma foi necessário implantar uma tecnologia de reúso. O efluente dessa etapa é recolhido através de canaletas, conforme é possível visualizar na figura 4, e é encaminhado por tubulação de 300 mm até a bomba de recalque para ETEII-II.

A ETEII-II, figura 5, é composta de um tanque de recalque, onde o coagulante (policloreto de alumínio) e os corretores de pH (ácido sulfúrico e hidróxido de sódio) são dosados. Posteriormente, o efluente bruto passa pela rede, onde o floculante (polímero aniônico) é dosado. Em seguida, o efluente segue para o processo separação sólido-líquido (três tanques decantadores tipo *Imhoff*). Na saída do último decantador, o efluente segue para um tanque de água clarificada. O efluente clarificado recebe inibidores de corrosão e incrustação que são dosados na rede de água clarificada. A vazão varia de 360 m³/h a 450 m³/h. Cada tanque decantador possui um volume de 100 m³ e o tempo de residência em média é de 30 minutos. O tratamento físico-químico é o responsável por clarificar o efluente e proteger as máquinas contra corrosão e incrustação. O lodo gerado no tratamento passa por um filtro prensa e em seguida é enviado para uma cimenteira. O material passa por vários processos até a adição na escória pozolânica (gesso).

Esse efluente apresenta características com presença de carbeto de Silício, cálcio, magnésio, que dificultam a do efluente em outras etapas do processo, sem ser a retífica e o polimento. Devido principalmente a presença de carbeto de silício, proveniente das peças abrasivas, este efluente não pode ser utilizado para tal, visto que essas características provocam a expansão das peças cerâmicas durante o ciclo de queima, perdendo a qualidade do produto.

Os processos realizados pela ETEI-II são monitorados através de automatização e conta com ajuda de sistema online. Dessa maneira, os parâmetros como vazão, condutividade, ph e turbidez são medidos de maneira preventiva na rotina, visto que o monitoramento deve ser constante para atender o reúso da etapa de polimento.

Figura 5 – Canaletas da etapa de polimento



Fonte: Acervo pessoal.

O objetivo principal da ETEI-II é remover turbidez. Como o efluente tratado é reutilizado na etapa de polimento e a forma do constituinte responsável do parâmetro turbidez são sólidos em suspensão (VON SPERLING, 2014), se esses não forem removidos com eficiência, as peças cerâmicas podem ser arranhadas.

Figura 6 – Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI-II)



Fonte: Acervo pessoal.

5.3 Caracterização do efluente da ETEI-II e eficiência

Na tabela 6 são apresentados os resultados da caracterização físico-química, referente a uma amostragem do efluente da ETEI-II. As análises foram realizadas por um laboratório acreditado pela norma da ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017, a fim de conhecer a característica inicial do efluente.

Tabela 5 – Parâmetros físico-químicos monitorados

Parâmetros	Unidade	Entrada	Saída
Alcalinidade total	mg/L	148,1	146,6
Alumínio total	mg/L	0,04	0,97
Cálcio total	mg/L	34,3	41,7
Dureza Total	mg/L	716,5	2248,8
Magnésio total	mg/L	153,2	528,1
Sólidos dissolvidos	mg/L	2626,3	2606,3
Sólidos sedimentáveis	mg/L	0,6	1,8
Sólidos suspensos	mg/L	143,5	150
Turbidez	NTU	90,4	5

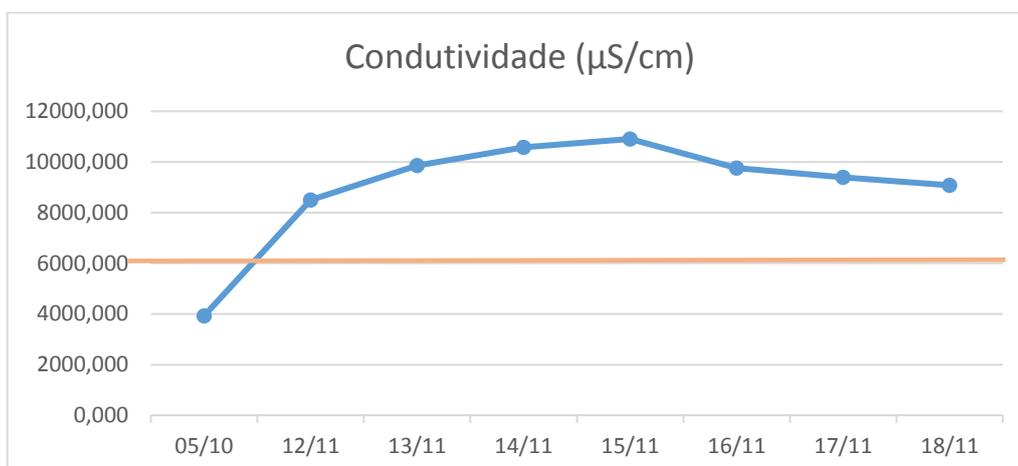
Fonte: Análises realizadas por laboratório acreditado pela ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017

Conforme apresentado na revisão bibliográfica desse estudo, quando a dureza total (2248,8 mg/L de CaCO₃ na saída) apresenta valores de concentração maiores que a alcalinidade total (146,6 mg/L na saída) (tabela 6), os íons de cálcio e magnésio podem estar associados a sulfatos, nitratos, cloretos e silicatos (MATOS, 2012). Conhecendo o processo produtivo, entende-se que esses íons estão associados a presença de silicatos, devido a composição da matéria-prima dos revestimentos cerâmicos.

O efluente caracterizado apresenta alta concentração de dureza tanto na entrada quanto na saída (tabela 6). No entanto, a concentração na saída teve um aumento de 68%. Essa dureza permanente em alta concentração na saída do efluente é devido a presença de carbonatos e bicarbonatos de cálcio e magnésio. A presença de íons de cálcio e magnésio é reforçada verificando o aumento na concentração de cálcio total e magnésio total na saída do efluente e pela alta concentração de sólidos dissolvidos, que teve um percentual de remoção de apenas 0,76%. A presença de cálcio e magnésio provoca incrustações em tubulações, ocasionando diversos problemas operacionais como a redução do diâmetro interno, o bloqueio e a diminuição da produtividade (KELLAND, 2011). A produtividade na indústria em estudo pode ser afetada devido ao bloqueio das tubulações que transportam a água de reúso para a etapa do processo de polimento.

Acredita-se que o aumento de 99% na concentração de alumínio no efluente total é devido a utilização do coagulante policloreto de alumínio. Em termos de turbidez, o efluente apresentou eficiência de 94,47% de remoção. Essa eficiência comprova a boa clarificação no tratamento realizado pelo coagulante policloreto de alumínio que funciona adequadamente na faixa de pH entre 6,0 a 10,0. No momento da amostragem, o pH do efluente na saída era de 8,6. Não foi possível calcular a eficiência do parâmetro para sólidos suspensos totais, pois o resultado praticamente se manteve o mesmo, tanto na entrada, quanto na saída. O resultado desse parâmetro se apresentou de forma inconsistente, já que a turbidez é considerada indicador de presença de sólidos em suspensão na água. Os sólidos sedimentáveis também não puderam ser avaliados, pois a concentração na saída (1,8 mg/L) apresentou-se maior que a concentração na entrada (0,6 mg/L) e estes são constituintes dos sólidos suspensos.

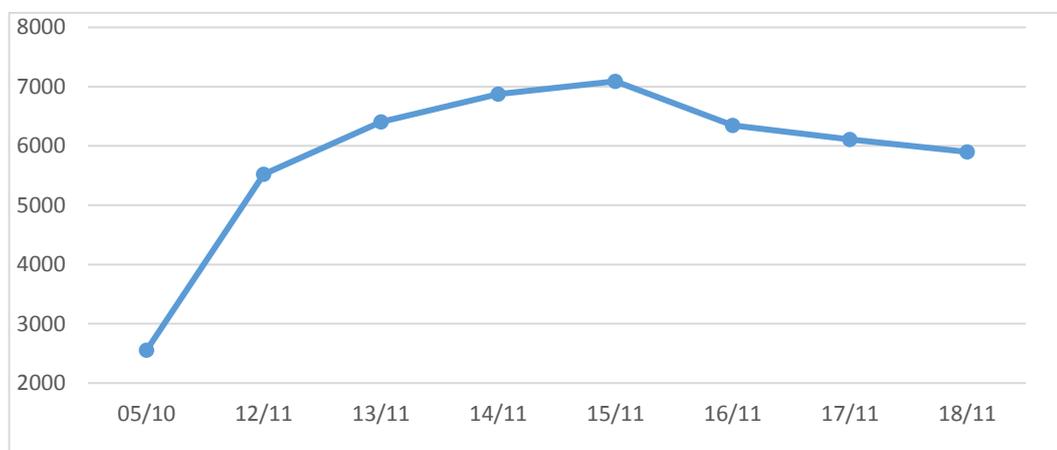
Além dos parâmetros analisados até aqui, os dados dos parâmetros de pH, condutividade elétrica e turbidez foram avaliados por um período de sete dias a partir da estação de automonitoramento instalada na ETEI-II. Além dos sete dias, esses parâmetros foram monitorados no mesmo dia da amostragem para análise dos parâmetros em laboratório. De acordo com o gráfico 3, é possível visualizar as altas concentrações de condutividade elétrica encontradas na saída do efluente durante toda semana de monitoramento. Após diversos testes de bancada realizados pela indústria, foi definido que a faixa de trabalho ideal de condutividade para o sistema é de aproximadamente 6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, no entanto esse valor não esteve acima apenas no dia 05/10.

Gráfico 3 – Monitoramento da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Fonte: Autoria própria, dados da empresa estudada

Os sólidos dissolvidos totais não fazem parte do automonitoramento realizado na ETEI-II, no entanto, a partir da condutividade elétrica, é possível estimar a concentração. Como a cinética de coagulação é influenciada pelos altos valores de sólidos totais dissolvidos, devido ao aumento da solubilidade de precipitados de alumínio e ferro, caso a eficiência de remoção desse parâmetro aumentasse, uma nova faixa ótima de coagulação teria sido alcançada (Metcalf; Eddy (1991) e APHA et al. (1992). Diminuindo a quantidade de coagulantes utilizada no tratamento, o custo seria reduzido gerando mais economia com o reúso da água na etapa de polimento. As concentrações de sólidos dissolvidos totais estimadas podem ser visualizadas no gráfico 4.

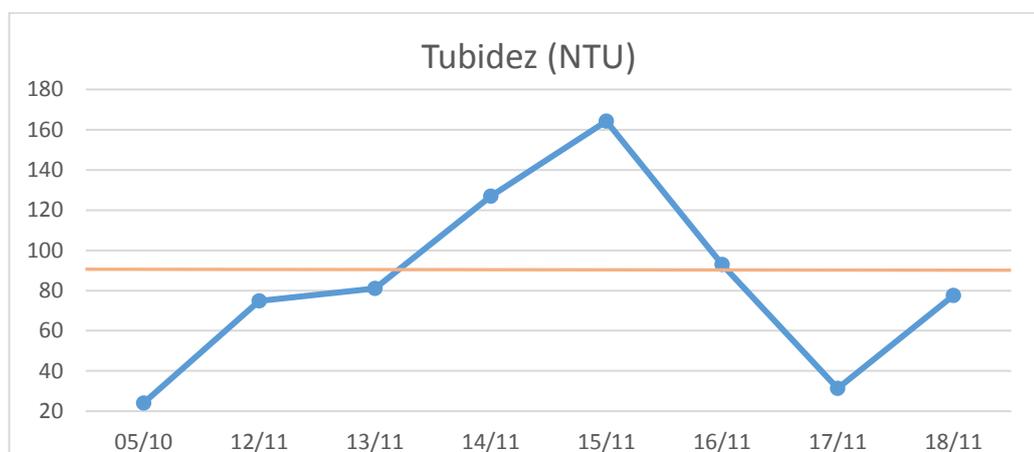
Gráfico 4 – Estimativa da concentração de sólidos dissolvidos totais (mg/L)



Fonte: Autoria própria, dados da empresa estudada

Para a turbidez, após diversos testes de bancada realizados pela indústria em estudo, foi definido que limite de trabalho ideal é de 90 NTU. Porém, em apenas quatro dos oito dias monitorados, a turbidez esteve dentro do limite ideal de trabalho (gráfico 5). Sempre que o efluente não atende aos requisitos de reúso para etapa de polimento, é necessário adicionar água ao sistema.

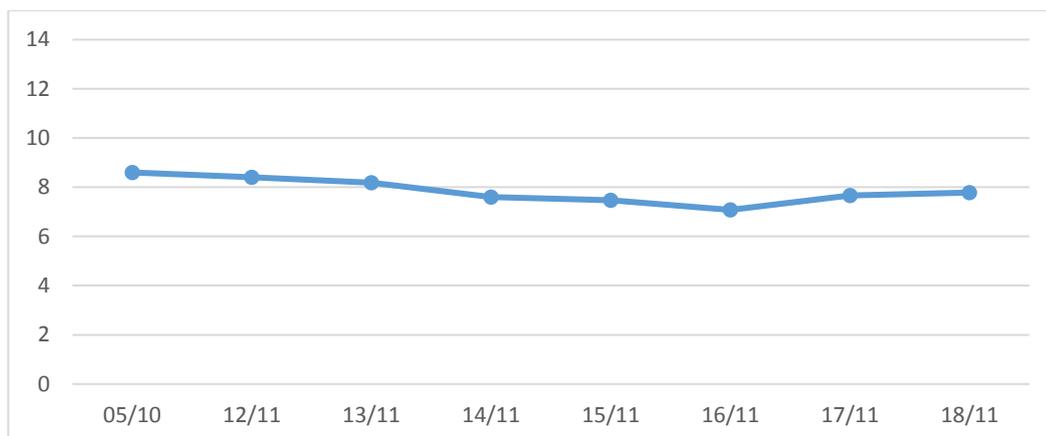
Gráfico 5 – Monitoramento da turbidez (NTU)



Fonte: Autoria própria, dados da empresa estudada

No processo de acidificação da água temos a dissolução dos carbonatos insolúveis transformados em íons bicarbonatos e cálcio solúveis. Se ocorrer a diminuição dos íons hidrogênio ou seja, a reação de retorno de bicarbonato para carbonato, isto significará um aumento de pH e induzirá a precipitação de Ca (mais rápida) e Mg (mais lenta) contribuindo para as incrustações (PEREIRA, 1998). O pH passa por variações por causa da pressão e temperatura, então águas com pH baixo são corrosivas, com pH elevado formam incrustações nas tubulações (SILVA et al., 2011). De acordo com Colonetti (2014), o ideal é que o pH tenha uma variação entre 6,5 a 7,5, evitando problemas de incrustações nos equipamentos e nas tubulações. O coagulante policloreto de alumínio consome parte da alcalinidade do meio, permitindo uma pequena variação do pH no efluente. No entanto, durante o monitoramento, o pH se manteve na faixa entre 7 e 9, assim, ultrapassando a faixa ideal para perfeito funcionamento do sistema.

Gráfico 6 – pH



Fonte: Autoria própria, dados da empresa estudada

A seguir serão apresentados as conclusões e recomendações para esse estudo.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O reúso de água em indústrias se apresenta não apenas como uma necessidade, em função da escassez e restrições legais, mas também como possibilidade de redução de custos, melhoria e otimização dos processos. Com a utilização de reúso de água em indústrias, setor potencial poluidor, é possível reduzir além de diversos problemas de escassez de água, as contaminações de água e solo, auxiliando para o desenvolvimento sustentável.

A partir da elaboração do fluxograma e da descrição do processo produtivo, foi possível identificar as etapas que possuem demanda de consumo de água, as fontes geradoras de efluentes, os tratamentos utilizados, as etapas que recebem água de reúso, tanto incorporada ao processo produtivo, quanto para os lavadores de gases, limpeza do piso e equipamentos. Com o balanço hídrico foi possível perceber a importância da prática de reúso no empreendimento, pois a etapa de polimento demanda um grande volume de água. Sem o reúso, os custos incorporados aos produtos seriam extremamente altos, além de ser um volume significativamente alto retirado dos poços artesianos e da COPASA.

Com o cálculo de eficiência dos parâmetros monitorados, foi possível avaliar parcialmente a qualidade do tratamento proposto pela Estação de Tratamento de Efluentes Industriais – II. A partir dos dados obtidos pelas análises laboratoriais e pelo automonitoramento, pode-se concluir que a ETEI-II cumpre em partes com seu objetivo, pois em diversos dias monitorados, a turbidez e a condutividade elétrica não estiveram dentro do limite ideal para atendimento dos requisitos e a dureza apresentou-se com altas concentrações, indicando a presença de problemas futuros nas tubulações do sistema.

Durante a avaliação dos resultados de alcalinidade total, alumínio total, cálcio total, dureza total, magnésio total, sólidos dissolvidos totais, sólidos sedimentáveis e sólidos suspensos, percebeu-se a necessidade de conhecer uma série histórica desses parâmetros para real caracterização do efluente, uma vez que em apenas uma amostragem o “todo” não é representado. Durante a amostragem, foi realizada a coleta de apenas uma alíquota. Porém, seria interessante que várias alíquotas fossem amostradas durante um dia de produção, para que obtivesse maior homogeneidade do efluente produzido.

É sugerido que também sejam realizados monitoramentos constantes dos parâmetros de sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais, alcalinidade e dureza, com intuito de conhecer a característica real do efluente para gerar um efluente de melhor qualidade, prevenir incrustações nas tubulações e reduzir a quantidade do uso de produtos químicos no tratamento. Caso seja objetivo do empreendimento reduzir o quantitativo de produtos químicos utilizados no tratamento, é proposto que seja realizado um estudo com testes de novos coagulantes ainda não utilizados e novas dosagens reduzidas. Para estudos futuros, também recomenda-se que seja avaliado a causa do aumento da concentração dos parâmetros cálcio, magnésio e dureza total após o tratamento do efluente.

REFERÊNCIAS

American Public Health Association – APHA, American Water Works Association – AWWA, Water Environment Federation – WEF. **Standard methods: for the examination of water and wastewater**. 18th ed. Washington: APHA:AWWA:WEF; 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13816:1997: Placas Cerâmicas para revestimento** – Terminologia. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13818:1997: Placas cerâmicas para revestimento** – Especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15463: Placas cerâmicas para Revestimento - Porcelanato**. Rio de Janeiro, 2013.

ANA – Agência Nacional de Águas (Brasil). **Quantidade de água**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>>. Acesso em: 08 ago. 2018.

ANA – Agência Nacional de Águas (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno**. Brasília, 2017. 169p. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/relatorio-conjuntura-2017.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

ANFACER - Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento, 2017. **Panorama da indústria cerâmica brasileira**, SP: ANFACER.

BARBA, Antonio. **Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas**. Instituto de Tecnología Cerámica, 2002.

BRASIL. **Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005**. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 15 set. 2017.

_____. **Lei nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em 20 de setembro de 2017.

_____. **Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 15 dez. 2015.

BERRY, L. L.; ZEITHAML, V. A.; MALHOTRA, N. **Pesquisa acadêmica de marketing: uma orientação aplicada.** 2001.

BLASCO, A. et al. **Tratamiento de emisiones gaseosas, efluentes líquidos y residuos sólidos de la industria cerámica.** Instituto de Tecnología Cerámica-Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas, Castellón, 1992.

BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P. C. S. Conceito de reuso de água. In: **Reuso de água.** Manole, 2003. p. 21-36.

COELHO, José Mário. **A Importância das Matérias-Primas Mineraias na Competitividade do Segmento de Revestimentos Cerâmicos.** 1996. 123f. Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas – SP.

COLONETTI, N. C. **Otimização do processo de clarificação química visando o reuso dos efluentes gerados nas etapas de polimento e esquadramento de uma indústria de revestimentos cerâmicos.** 2016.

COSTA, Regina Helena Pacca. Reúso. In: TELLES, Dirceu D'Alkmin; COSTA, Regina Helena Pacca (coord). **Reúso da água: conceitos, teoria e práticas.** São Paulo: Blucher, 2010a. Cap. 7.

ECOPOLO. Site Corporativo. Disponível em: <www.ecopolo.com.br/> Acessado em 2017.

EMILIANI, G.P., CORBARA, F. 1999. **Tecnologia cerâmica.** Faenza: Editoriale Faenza Editrice. v.1.

FERNANDES, P., et al. **Reaproveitamento do lodo da estação de tratamento de efluentes de uma indústria cerâmica**. Revista Cerâmica Industrial, São Paulo, v. 12, n. 6, p. 26-31, nov/dez, 2002.

FONSECA, João José Saraiva. **Metodologia da Pesquisa Científica**. 2002.

GALVÃO, Jucilene; BERMANN, Célio. **Crise hídrica e energia: conflitos no uso múltiplo das águas**. Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, v. 29, n. 84, p. 43-68, 2015.

GIL, A. C. **Estudo de caso**. Atlas, 2009.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T.. **Métodos de pesquisa**. Plageder, 2009.

GEWEHR, A. G. **Tratamento por coagulação-floculação de lixiviado bruto de aterro sanitário com e sem pré-tratamento biológico em reator sequencial em batelada**. 2012. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

HESPANHOL, I. **Água e Saneamento Básico. Uma visão Realista**. In: Rebouças. A.C. (Coord.). Águas Doces no Brasil. São Paulo: Escrituras, 1999.

HESPANHOL, Ivanildo et al. **Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **ISO 13006:1998: Ceramic tiles** — Definitions, classification, characteristics and marking. Geneva, 1998.

KELLAND, M. A. **Effect of Various Cations on the Formation of Calcium Carbonate and Barium Sulfate Scale with and without Scale Inhibitors**. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2011.

LAUER, W.C. et al. **“Denvers’s Potable Water Reuse project. Current status”**. In: Water Reuse Symposium, 3, 1984. San Siego, California, Proceedings, 1984, p.316-36.

LAVRADOR FILHO, J. **Contribuição para o entendimento do reúso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil.**

Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1987.

MANCUSO, P. C. S; SANTOS, H. F. **Reuso de água.** Barueri, S.P.: Manole, 2003.

MARIANO, W. A.; JORGE JR, A. M.; PRIETO, M. A. M. L. **Técnica de preparação de amostras para MEV.** IV Simpósio Brasileiro de Microscopia Eletrônica e Técnicas Associadas à Pesquisa de Materiais–Micromat-94, p. 515-518, 1994.

MATOS, AT de. **Qualidade do meio físico ambiental: Práticas de laboratório.** Viçosa: Ed. UFV, 2012.

MAZZER, C.; CAVALCANTI, O.A.; **Introdução à gestão ambiental de resíduos.** Infarma., v.16, n.11-12, p.67-77, 2004.

MÁXIMO, V. A. **Tratamento por coagulação-floculação dos lixiviados do aterro sanitário da região metropolitana de Florianópolis.** 2007. 186 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

METCALF; EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse.** 3 ed. Metcalf & Eddy, Inc., 1991. 1334 p.

MIERZWA, José Carlos. **O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria estudo de caso da Kodak Brasileira.** 2002. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MIERZWA, J. C; HESPANHOL, I. **Água na indústria – Uso racional e reúso.** Oficina de textos. São Paulo, 2005. 143p.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008.** 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. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>> Acesso em: 03 mai. 2016.

MONTGOMERY, J.M. **Facilities design. In: Water treatment principles and design.** Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1985. p. 491-580.

MOTA, J. F. M.; ZANARDO, A.; CABRAL, M. J. **As matérias-primas cerâmicas. Parte I: o perfil das principais indústrias cerâmicas e seus produtos.** São Paulo: Revista da Cerâmica Industrial. 2001. v. 6, p. 29-30.

MOURA, A. J. **A crise hídrica no Brasil: A água como elemento raro e caro.** Cacoal, Brasil. Revista Científica Eletrônica, Cacoal v.4, n.1, p.31-43, 2015.

NALCO Chemical Company. **The Nalco water handbook.** 2. Ed. Editor: Frank N. Kemmer. New York: McGraw-Hill, 1988.

NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais.** Editora J. Andrade, 2004.

OLIVEIRA, M.A.; REIS, E.M.; NOZAKI, J.; **Wat., Air, Soil Poll.** 2001, 126, 307.

PENAGOS, D., MEJIA, A. **Descarga Zero de Águas Residuais Domésticas e Industriais por Meio da Reutilização em Processos Industriais para Fabricação de Revestimentos Cerâmicos e Louças Sanitárias.** Revista Cerâmica Industrial, São Paulo, v. 18, n. 5-6, p. 18-24, set/dez, 2013.

PEREIRA, E. **A utilização de ácidos orgânicos combinados na limpeza e recuperação de poços tubulares incrustados: o exemplo de tietê (SP).** Águas Subterrâneas, n. 1, 1998.

RIBEIRO, F. M.; BASSOI, L. J. **Reúso e uso racional de água na indústria: Considerações e exemplos no estado de São Paulo.** In: TELLES, D. D.; COSTA,

Richter, C. A. (2009). **Água Métodos e Tecnologia de Tratamento.** Editora Ética Blucher. Brasil.

R. P. (Coord.). **Reúso da água: Conceito, teorias e práticas.** 2^o ed revista, atualizada e ampliada. São Paulo: Blucher, 2010, p. 249-279.

ROSSO, Jeancarlo; CUNHA, Edilene de Souza; ROJAS-RAMÍREZ, Roberto A. **Características técnicas e polimento de porcellanatos.** Cerâmica Industrial, v. 10 n. 4, p.11-14, 2005.

SAUTCHÜK, C. A. et al. **Conservação e Reúso de água: Manual de orientações para o setor industrial**. Federação e Centro das Indústrias do Estado de São Paulo–FIESP/CIESP, v. 1, 2004.

Santos Filho, J. D.; Santa Rita, S. E. **Monografia de Especialização**, Universidade Federal da Bahia - Escola Politécnica (2002).

SILVA, I. N.; FONTES, L. de O.; TAVELLA, L. B.; OLIVEIRA, J. B. de; OLIVEIRA, A. C. de. **Qualidade de água na irrigação. ACSA - Agropecuária científica no semiárido**, v.7, n.3, p.1-15, 2011.

TOMAZ, P. **Previsão de consume de água: Interface das instalações prediais de água e esgoto com os serviços públicos**. São Paulo: Navegar, p. 15-71, 2000.

World Water Assessment Programme. 2009. The United Nations World Water Development Report 3: **Water in a Changing World**. Paris: UNESCO, and London: Earthscan.

VAZ, Luiz Gustavo de Lima et al. **Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento do efluente líquido gerado na galvanoplastia**. 2009. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4 ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 452 p., 2014.
WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. The United Nations World Water Development Report 3: **Water in a Changing World**. Paris: UNESCO, and London: Earthscan, 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards**. Of a WHO meeting of experts. Technical report series n. 517. Genebra, 1973.

WESTERHOFF, G.P. **“Un update of research needs for water reuse”**. In: Water Reuse Symposium, 3, 1984. San Siego, California, Proceedings, p.1731-42.

YIN, Robert K. **Resenha livre de Yin**. Porto Alegre: Bookman, 2005.