

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

DIAGNÓSTICO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL DO  
TERMINAL PORTUÁRIO DE SÃO LUÍS - MA

NAUHANY SOARES

BELO HORIZONTE

2018

NAUHANY SOARES

DIAGNÓSTICO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL DO  
TERMINAL PORTUÁRIO DE SÃO LUÍS - MA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. MSc André Luiz Marques Rocha

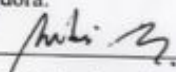
NAUHANY SOARES

DIAGNÓSTICO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL DO  
TERMINAL PORTUÁRIO DE SÃO LUÍS - MA

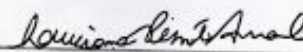
Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Centro Federal de Educação Tecnológica de  
Minas Gerais como requisito parcial para  
obtenção do título de Engenheiro Ambiental e  
Sanitarista.

Data de aprovação: 21 / 06 / 2018

Banca Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
André Luiz Marques Rocha – Presidente da Banca Examinadora

Professor Mestre do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Luciana Pcixoto Amaral

Professora Doutora do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

  
\_\_\_\_\_  
Evandro Carrusca de Oliveira

Professor Doutor do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

## RESUMO

SOARES, Nauhany. *Diagnóstico da Estação de Tratamento de Efluente Industrial do Terminal Portuário de São Luís*. 2018. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

Ainda que a disponibilidade hídrica do Brasil coloque o país em vantagem perante outras nações, a distribuição desse recurso não é homogênea, de maneira que algumas regiões enfrentam problemas para suprir suas demandas hídricas devido à qualidade desses recursos muitas vezes inadequada para consumo humano, estabelecendo algumas vezes um entrave ao desenvolvimento do local. O Brasil atualmente não realiza o tratamento da totalidade de efluentes gerados, o que contribui na deterioração da qualidade da água. O objetivo principal do trabalho foi realizar um diagnóstico da estação de tratamento de efluente industrial do pátio de manganês, por meio do estudo dos fatores externos que influenciam na estação, em termos de remoção de DBO, DQO e Manganês, a fim de levantar pontos críticos e propor soluções para a melhoria da qualidade do efluente tratado. Para tanto, foram utilizados os resultados de análises de amostras de efluente bruto e tratado, fornecidos pela empresa, durante o período de seis meses. De acordo com os resultados obtidos, notou-se uma discrepância nos valores das concentrações de DBO e DQO quando comparados mês a mês e ainda com outros efluentes similares. Essa discrepância pode ser atribuída a fatores externos que influenciam no funcionamento da estação. O parâmetro de manganês também se encontrou fora do esperado em alguns meses, de acordo com o padrão estabelecido para a CONAMA 430/11 e isso foi investigado com o auxílio da bibliografia e das correlações com alguns fatores externos à estação. Após análises das características do efluente industrial tratado vindo da ETEI do Terminal Portuário de São Luís-MA, acredita-se que exista um potencial para o reuso em algumas áreas tais como, aspersão dos pátios e lavagem de peças, desde que sejam realizados ajustes no sistema para a melhoria da eficiência da ETEI. Isso deve ser feito para que a mesma atenda requisitos de qualidade que não interfiram na saúde e no meio ambiente, conforme prescritos nos manuais da USEPA e na norma NBR13969/97.

Palavras-Chave: Efluentes Industriais. Tratamento. Padrões de Lançamento. Diagnóstico.

## **ABSTRACT**

SOARES, Nauhany. Diagnosis of the Industrial Wastewater Treatment Plant of the Port Terminal of São Luís. 2018. Monograph (Undergraduate in Environmental and Sanitary Engineering) – Department of Environmental Technology and Science, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

Although Brazil's water availability puts the country at an advantage over other nations, the distribution of this resource is not homogeneous, so that some regions face problems to meet their water demands, sometimes establishing an obstacle to the development of the site.

Brazil currently does not treat all the effluents generated in the country, which contributes to the deterioration of water quality. The main objective of this work was to investigate the efficiency of the industrial wastewater treatment plant in terms of the removal of BOD, COD and Manganese, by means of a diagnosis of the station and adjacent structures affecting it, in order to propose alternatives of reuse for the treated wastewater. For this, the results of analyzes of raw and treated effluent samples, provided by the company, were used during a six-month period. According to the results obtained, a discrepancy was observed in the values of BOD and COD concentrations when compared month by month and with other similar effluents. This discrepancy can be attributed to external factors that influence the operation of the station. The manganese parameter was also found out of the expected in a few months, according to the standard established for CONAMA 430/11, this was investigated with the aid of bibliography and correlations with some factors external to the station. After analyzing the characteristics of the treated industrial effluent coming from the ETEI of the Port Terminal of São Luís-MA, it is believed that there is a potential for reuse in some areas such as sprinkling of yards and washing of parts, if adjustments are made in the system to improve the efficiency of ETEI. This must be done in order to meet quality requirements that do not interfere with health and the environment as prescribed in the USEPA and NBR13969 / 97 manuals.

Key-words: Industrial Wastewater. Treatment. Release Patterns. Diagnosis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma do processo de carregamento/descarregamento	15
Figura 2: Pátios A B e C de estocagem de gusa e manganês	16
Figura 3: Pátio de armazenamento de gusa e manganês com geração de efluente	16
Figura 4: Canaleta obstruída que deveria interligar o efluente à ETEI	17
Figura 5: Canaleta obstruída com manganês	17
Figura 6: Esquema ilustrativo do processo de geração de efluente industrial	18
Figura 7: Vista aérea da ETEI	36
Figura 8: Vista parcial do pátio de manganês com geração de efluente	36
Figura 9: Fluxo de contribuição da ETEI	37
Figura 10: Fluxograma do processo de tratamento da estação	38
Figura 11: Localização do Terminal Portuário na capital São Luís	47
Figura 12: Edificações do Terminal Portuário de São Luís	48
Figura 13: Gráfico do volume precipitado diariamente no 1º semestre de 2018	54
Figura 14: Gráfico do volume precipitado diariamente no 2º semestre de 2017	55
Figura 15: Estruturas da área de contribuição e pontos de geração de efluente industrial	57
Figura 16: Perfil de elevação da bacia de contribuição da ETEI. a) ponto mais baixo do terreno próximo a ETEI. b) elevação do ponto próximo aos silos. c) ponto mais alto, também localizado próximo aos silos	57
Figura 17: Gráfico de comparação de remoção de DBO mensalmente	62
Figura 18: Gráfico de comparação de remoção de DQO mensalmente	62
Figura 19: Gráfico da relação entre incidência de chuva e alta concentração de DBO e DQO	64
Figura 20: Localização e organização das estruturas de armazenamento de grãos	69
Figura 21: Volume mensal de água consumida no pátio de manganês no ano de 2017	74
Figura 22: Volume mensal de água consumida no pátio de manganês no ano de 2018	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais parâmetros analisados nos efluentes industriais (continua...)	20
Tabela 2: Condições de lançamento de efluentes	22
Tabela 3: Padrões de lançamento de efluentes - Parâmetros Inorgânicos e Orgânicos (continua...)	23
Tabela 4: Principais poluentes de despejos industriais (continua...)	26
Tabela 5: Principais processos e operações unitárias de tratamentos aplicados a alguns contaminante (continua...)	31
Tabela 6: Características do efluente - Empreendimento 1	34
Tabela 7: Características do efluente - Empreendimento 2	35
Tabela 8: Critérios de qualidade para reuso de efluentes	44
Tabela 9: Classificações e parâmetros para esgotos sanitários conforme reuso	45
Tabela 10: Potenciais poluentes do efluente e seus limites estabelecidos pela CONAMA 430/11	50
Tabela 11: Indicação de formas de tratamento de efluente de acordo com o grau de biodegradabilidade	52
Tabela 12: Relação de biodegradabilidade do efluente na entrada da ETEI para o 2º semestre de 2017 e abril de 2018	59
Tabela 13: Análises apresentando a eficiência de remoção de DBO e DQO para os meses de Junho e Julho de 2017.	60
Tabela 14: Análises apresentando a eficiência de remoção de DBO e DQO para os meses de Agosto e Setembro de 2017	61
Tabela 15: Análise apresentando DBO e sólidos sedimentáveis fora do padrão CONAMA 430/11 para os meses de Junho e Setembro de 2017.	63
Tabela 16: Volume de grãos (soja e milho) recebido no porto no 2º semestre de 2017	66
Tabela 17: Movimentação de manganês no porto no 2º semestre de 2017	67
Tabela 18: Análise apresentando manganês fora do padrão CONAMA 430/11 para os meses de novembro e dezembro de 2017.	67
Tabela 19: Resultado da análise laboratorial realizada em abril de 2018	71
Tabela 20: Análises realizadas pelas empresas Tecma (ensaio 1,2 e 3) e pela empresa Limnos (ensaio 4) em junho de 2017	73
Tabela 21: Consumo de água separado por hidrômetro nos anos 2017 e 2018	75

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVO GERAL	12
2.1 Objetivos Específicos	12
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
3.1 Saneamento Na Área Portuária	12
3.2 Especificação da Atividade Portuária no Terminal	14
3.3 Características dos Efluentes	19
3.4 Principais Sistemas de Tratamento de Efluentes Industriais	29
3.5 O Sistema de Tratamento do Efluente Industrial do Terminal Portuário	33
3.6 Reuso de Efluentes Industriais em Áreas Portuárias	40
4. METODOLOGIA	46
4.1 Método de Abordagem	46
4.2 Método Operacional	46
4.2.1 Área de Estudo	46
4.2.2 Caracterização do Efluente	49
4.2.3 Avaliação das Análises do Efluente Tratado	50
4.2.4 Avaliação da Viabilidade do Reuso do Efluente	52
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
5.1 Problemas Referentes a Localização da ETEI e do Pátio de Manganês	53
5.2 Características do Efluente e Avaliação das Análises da ETEI	56
5.2.1 Análise do Potencial de Biodegradabilidade do Efluente Associado ao Processo de Tratamento Escolhido para a Estação	58
5.2.2 Influência dos Episódios de Alto Volume de Chuva com a Variação da Concentração de DBO e DQO no Efluente	63
5.2.3 Influência dos Processos de Movimentação de Produtos (soja, milho e manganês) com a Variação nos Parâmetros de DBO, DQO e Manganês	65
5.2.4 Impacto de uma Ocorrência de Perda de Soja com o Pico de Concentração de DBO e DQO no Mês de Setembro	68
5.2.5 Influência dos Problemas de Drenagem Apontados na Operação da Estação	70
5.2.6 Confiabilidade e Precisão do Laboratório de Análise	71
5.4 Viabilidade de Reuso do Efluente	73
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79





## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos os envolvidos na realização desse trabalho de conclusão de curso. Ao Professor André, responsável pela orientação do trabalho pela dedicação e paciência. A VLI pelo fornecimento dos dados para realização de um estudo acadêmico. Aos professores do CEFET, pela disposição em sanar minhas frequentes dúvidas. À minha família por ser sempre apoio incondicional em qualquer momento da minha vida. Aos meus queridos amigos e companheiros de CEFET, Matheus e Natália, pelo apoio durante a realização desse trabalho e por serem durante todos esses anos suporte imprescindível para minha formação acadêmica. A Thaís e a Gabriela, por ter me apoiado como sempre durante todo o ano que envolveu a elaboração desse trabalho. À Deus, por ter me dado absolutamente todas as condições para ter chegado até aqui.

Soares, Nauhany.

Diagnóstico da Estação de Tratamento de Efluente Industrial do Terminal Portuário de São Luís – MA. Nauhany Soares. – Belo Horizonte, 2018.

87f.

Orientador André Luís Marques Rocha

Trabalho de Conclusão de Curso, graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, 2018.

Efluente Industrial. Tratamento. Padrões de Lançamento. Diagnóstico. CEFET-MG.

## 1. INTRODUÇÃO

Ainda que a disponibilidade hídrica do Brasil coloque o país em vantagem perante outras nações, a distribuição desse recurso não é homogênea, de maneira que algumas regiões enfrentam problemas para suprir suas demandas hídricas devido a qualidade desse recurso muitas vezes inadequada para consumo humano, estabelecendo algumas vezes um entrave ao desenvolvimento do local.

Quando o assunto é água, trata-se de um recurso abundante porém mal gerido no país. O Brasil possui um baixo índice de tratamento das águas residuais, o que resulta em pouca atenção ao lançamento de efluentes, muitas vezes sem o tratamento adequado, em corpos receptores (PINTO et al., 2006). Apesar da atenção para esse assunto estar, na maioria das vezes, voltada para o setor público e o saneamento básico das cidades, outros setores também enfrentam problemas similares. Empresas privadas, indústrias e outros empreendimentos localizados em regiões mais remotas e afastadas dos centros urbanos, enfrentam muitas vezes desafios no tratamento dos efluentes gerados no processo.

Pensando nisso, e com base em um histórico de dificuldades e problemas vivenciados com estações de tratamento de efluentes industriais na empresa, decidiu-se estudar a estação de tratamento de efluentes industriais do Terminal Portuário de São Luís. O terminal, pertencente a empresa de logística VLI, está localizado em São Luís, estado do Maranhão, e trata-se de um porto, responsável por escoar produtos como soja, milho, farelo de soja, ferro gusa e manganês, para fora do país. O porto encontra-se localizado em uma região do Brasil de alta disponibilidade hídrica, segundo dados da Agência Nacional das Águas (ANA, 2005), e atualmente dispõe de uma estação de tratamento de efluentes industrial que após tratar a água residual lança o efluente diretamente ao mar. Com isso, em caso de falha ou ineficiência no sistema de tratamento existe um risco iminente de lançamento desse efluente contaminado no corpo receptor.

Tendo a situação atual do porto em mente, vê-se que existe um risco associado a prática de lançamento direto do efluente ao corpo hídrico. Acidentes ambientais envolvendo contaminação de corpos hídricos por lançamento de efluentes e rejeitos do processo produtivo, lamentavelmente, têm sido um assunto em alta na rotina do país. Com isso, sentiu-se a necessidade de realizar um diagnóstico da estação de tratamento de efluente industrial do pátio de manganês, por meio do estudo dos fatores externos que influenciam na

estação, a fim de levantar pontos críticos e propor soluções para a melhoria da qualidade do efluente tratado. O funcionamento adequado de uma estrutura como essa é essencial em se tratando de qualidade do ambiente e do corpo receptor, e pode vir a ser um grande problema de contaminação se encontrado anomalias no sistema.

Assim sendo, trabalhos devem ser sempre desenvolvidos em torno da realização de melhorias para essas estruturas, não só na empresa como no país com um todo. O Brasil é um país bastante atrasado quanto ao uso de tecnologias para o tratamento de efluentes, muito disso provavelmente se deve a alta disponibilidade hídrica já mencionada anteriormente (LANNA, 2008). No entanto, com um tratamento mais adequado, obtendo um efluente de qualidade de acordo com os padrões exigidos no país, passa a ser possível pensar em reuso desses efluentes. O desperdício da capacidade de reaproveitamento dessas águas é elevado na maioria das indústrias que não o fazem, visto que a quase totalidade delas utilizam um grande volume de água em seu processo produtivo (CERQUEIRA et al., 2015). Ainda segundo Cerqueira et al (2015), o reuso do efluente poderia ao mesmo tempo aliviar a demanda de consumo de água no porto e diminuir o risco de lançamento de um efluente contaminado ao corpo receptor. Além disso, o reuso do efluente tratado representaria uma fonte própria de água para o terminal, que atualmente depende inteiramente de um fornecimento externo de água para seu abastecimento. Com o aumento da consciência em torno da importância do uso racional do recurso, bem como a necessidade de se controlar perdas e evitar desperdícios, torna-se visível que as águas residuais podem deixar de ser um problema e vir a ser parte de uma solução através de técnicas de reuso (PINTO et al., 2006).

Tais práticas poderiam trazer vantagens para a empresa, pois reduziria o consumo de água e a dependência hídrica de um abastecimento externo, ao utilizar água de reuso na aspersão dos pátios de gusa e manganês, responsáveis por grande parte da emissão de materiais particulados, umectação das vias, lavagem das máquinas e outros fins menos nobres. Além disso, seriam ainda reduzidos os riscos de autuações e multas devido à emissão de particulado e ao lançamento de efluente diretamente ao mar, fora dos padrões permitidos pela legislação.

As técnicas de reuso dessas águas, segundo Pinto et al (2006), já são mundialmente conhecidas, mas ainda pouco disseminadas no nosso país, e por esse motivo o estudo das alternativas de reuso atrelado ao aprimoramento dos sistemas de tratamento de efluentes são

tão relevantes no Brasil. Dessa forma, não deixariam de ser relevante também para a empresa, que estaria fazendo a uma gestão ambiental mais eficaz das áreas em que está inserida no país.

## **2. OBJETIVO GERAL**

Estudar os pontos principais do processo industrial no Terminal Portuário de São Luís que possam influenciar no funcionamento da estação e assim, realizar um diagnóstico do sistema, propondo melhorias para o mesmo e avaliando a possibilidade de reuso do efluente tratado.

### **2.1 Objetivos Específicos**

- Caracterizar o entorno da estação a fim de levantar os pontos problemáticos
- Caracterizar o efluente gerado na estação de tratamento de modo a conhecer suas propriedades.
- Avaliar as análises do efluente tratado, e conhecer assim as limitações do sistema de tratamento.
- Sugerir melhorias e adequar os pontos problemáticos levantados no sistema de tratamento do efluente, no intuito de obter um efluente de qualidade que respeite os padrões estabelecidos pela legislação.

## **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **3.1 Saneamento Na Área Portuária**

Dentro da imensidão de conceitos de sustentabilidade, será destacado o conceito abordado por Satterthwaite (2004), onde se desenvolver de forma sustentável trata-se da capacidade de dar respostas às necessidades humanas, com o mínimo de transferência dos custos da produção, consumo de recursos ou geração de resíduos para outras pessoas ou ecossistemas, hoje e no futuro (SATTERTHWAITE, apud BARBOSA, 2006) .

O saneamento, contudo, é uma das alternativas, se feito de forma bem gerenciada, para um suprimento das necessidades humanas de forma mais sustentável. Com base nos seus 4 pilares: abastecimento de água, gestão de resíduos sólidos, esgotamento sanitário e drenagem

das águas pluviais, estabelecidos pela Lei Nº 11.445, de 5 de Janeiro de 2007, começa a se estabelecer, ainda que timidamente, um desenvolvimento que não culmine em escassez de recursos naturais.

Dessa forma, ao falar-se de saneamento em áreas portuárias, devem ser seguidos os mesmo princípios. Por se tratar de zonas costeiras, as atividades portuárias são passíveis de causar grandes alterações ao ambiente regional com vasto potencial de impactos (CUNHA, 2006). As atividades inerentes à rotina de um porto como a sua operação, carregamento/descarregamento e manutenções acabam gerando cenários desafiadores para um sistema tradicional de saneamento, pois oferecem riscos ao ambiente e as comunidades presentes no meio. Como exemplo disso, têm-se a geração de resíduos não perigosos e perigosos em sua maioria contaminados por óleos e graxas vindos dos processos de carregamento/descarregamento das embarcações e manutenção de máquinas, lavagem de peças gerando efluentes industriais, dragagem, inserção de espécies exóticas através da água de lastro, lançamento de efluentes ao mar, emissões de material particulado entre outros. Assim sendo, é primordial o estabelecimento de uma gestão ambiental portuária que dê a devida importância aos reflexos de uma atividade com tamanho potencial de modificação regional (CUNHA, 2006).

Segundo Muñoz (2005) os portos são infraestruturas importantes, a partir do momento que promovem desenvolvimento econômico nas regiões onde estão implantados em diversos países, atraindo indústrias e causando expansão imobiliária. Além disso, eles funcionam como elos de integração do desenvolvimento interno com o externo, tornando possível a importação e exportação de bens entre países, fazendo com que a economia se movimente dentro e fora do território nacional.

Devido à importância da atividade portuária para a economia e ao reconhecer o potencial de impacto vindo das atividades portuárias, o governo federal em 1998, através da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar, criou a Agenda Ambiental Portuária, elaborada para agir como um instrumento norteador e de modelagem de um ambiente saudável, seguro e em sintonia com o meio ambiente nas regiões onde situam os portos (MMA, 1998). Portanto, a gestão ambiental nas áreas portuárias deve consistir da execução contínua de uma série de processos estabelecidos para extinguir ou ao menos controlar as fontes de pressão e impactos gerados com as operações dos portos.

O uso da águas é provavelmente o recurso mais demandado e conseqüentemente impactado dentro de um porto. Sua principal demanda em uma área portuária pode ser vista como a disponibilidade hídrica para navegação, bem como para abastecimento geral do terminal na realização de suas atividades rotineiras. Concomitantemente à alta demanda do recurso, existe a geração de diferentes tipos de efluentes inerentes dos mais variados usos da água no terminal. Os efluentes podem ser de origem sanitária, industrial ou ainda pluvial proveniente de água de chuva potencialmente contaminada. Para todos os tipos são necessários tratamentos distintos e adequados, de forma que esse efluente não seja lançado diretamente ao mar, contribuindo para uma contaminação do local com o passar dos anos. Esses pontos, no entanto, serão tratados nos próximos capítulos da fundamentação teórica (FREITAS et al., 2014).

### **3.2 Especificação da Atividade Portuária no Terminal**

Tendo em vista que o processo produtivo da empresa influencia diretamente no efluente industrial gerado (BRAGA et al., 2005), esse capítulo se destina a elucidar a operação do Terminal Portuário de São Luís, localizado na capital maranhense. O Terminal é operacionalizado dentro do Porto do Itaqui, e conta com uma estrutura de 7 silos e armazéns de estocagem de grãos com capacidade estática de 240 mil toneladas, 3 pátios para estocagem de ferro gusa e manganês com capacidade estática de 140 mil toneladas, descarga ferroviária e rodoviária de grãos, descarga ferroviária de gusa e manganês e 1 píer de atracação com 280 metros de comprimento e 18 metros de profundidade (VLI, 2018).

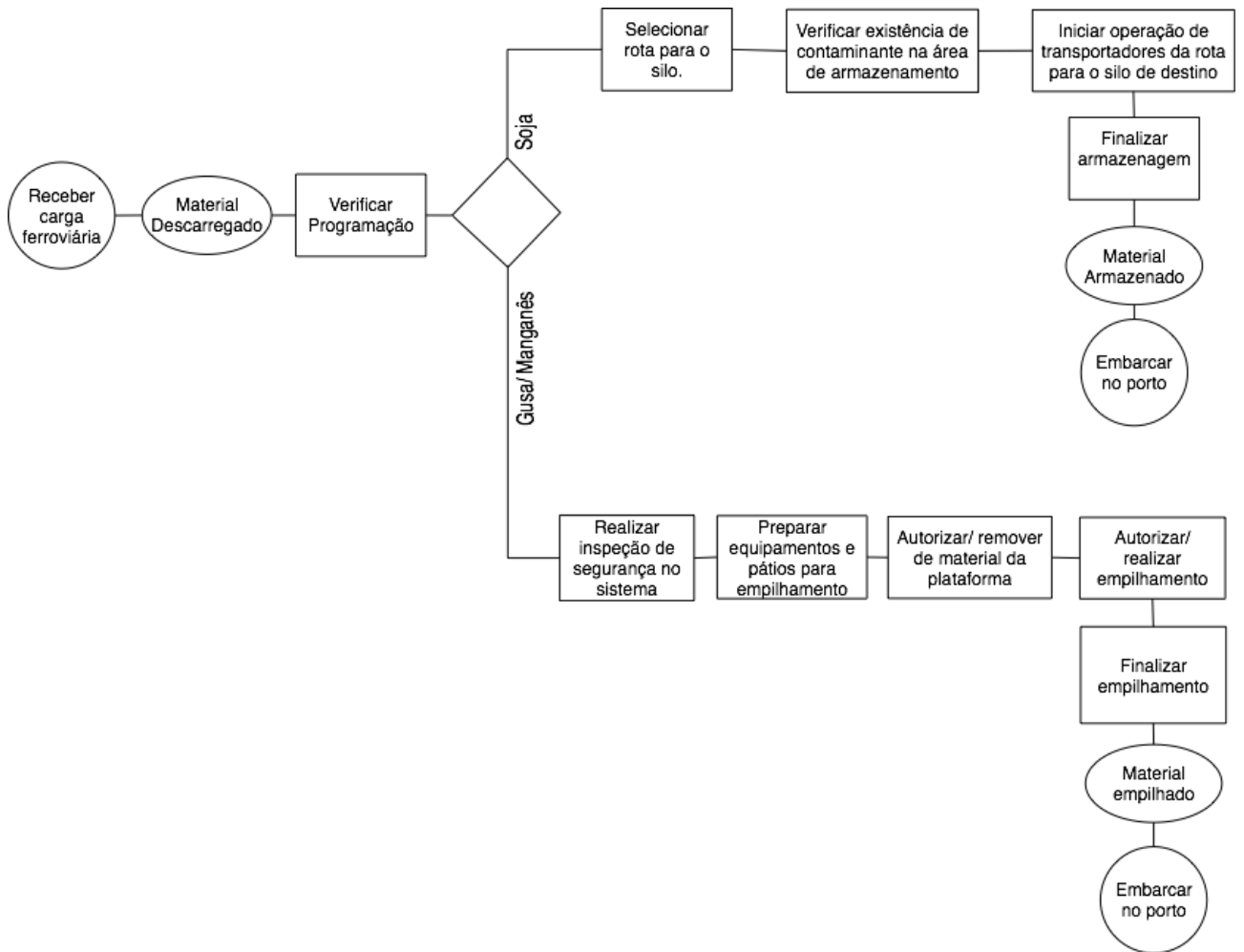
A empresa VLI funciona com base em um sistema logístico integrado, que, a partir de terminais integradores liga a malha ferroviária a diversos portos no país, sendo um deles o Terminal Portuário em questão neste trabalho (VLI, 2018). O porto recebe diferentes produtos dos terminais integradores por meio da ferrovia, sendo eles: soja, milho, farelo de soja, gusa e manganês. Após o recebimento, esses produtos são armazenados em armazéns, silos ou pátios, de acordo com as especificidades de cada produto. Posterior ao armazenamento, o produto é embarcado nos navios e exportados para outros países de acordo com a demanda dos clientes (VLI, 2017a).

A atividade exercida no porto contempla então, resumidamente, o recebimento do produto, seu armazenamento, manutenção da qualidade, controle de perda do produto durante



o tempo de estocagem e embarque nos navios para o destino final. Todos os materiais a serem embarcados são transportados através de máquinas carregadoras e correias transportadoras até o píer, onde ocorre o embarque e o final da prestação de serviço, conforme ilustrado no fluxograma da figura 1 (VLI, 2017b).

Figura 1: Fluxograma do processo de carregamento/descarregamento



Fonte: Elaboração própria.

O presente trabalho, tem como escopo a operação dos pátios de gusa e manganês, pois são os processos contribuintes para a ETEI em questão. É inerente ao processo de armazenamento a céu aberto de minério de gusa e manganês, a emissão de material particulado, e, por isso, faz-se necessário a aspersão das pilhas a fim de reduzir essa emissão (VLI, 2017a). No entanto, esse processo irá gerar um efluente industrial que precisa ser manipulado e tratado.

O minério de manganês e o gusa são estocados nos pátios abertos, onde ficam dispostos até o carregamento do navio. Esse produtos ficam então dispostos nos pátios A, B e C, sendo os pátios A e B para a disposição do gusa e o pátio C para disposição do minério de manganês, conforme ilustrado na figura 2 (VLI, 2017a).

*Figura 2: Pátios A B e C de estocagem de gusa e manganês*



Fonte: VLI, 2018.

*Figura 3: Pátio de armazenamento de gusa e manganês com geração de efluente*



Fonte: Google Earth, 2015.

Como o produto fica disposto a céu aberto, a chuva torna-se também parte do processo, pois irão somar parte significativa dos efluentes gerados nesses pátios. As águas de chuva, somam-se aos efluentes do pátio C (figura 3) provenientes da aspersão das pilhas de ferro gusa e minério de manganês e ainda da contribuição pluvial de parte da área dos silos (destinados ao armazenamento de grãos de soja e milho), conforme perfil da sub bacia que consta no Anexo I.

Os pátios possuem um sistema de drenagem das águas de chuva e aspersão, ilustrado nas figuras 4 e 5, que interliga-se a uma estação de tratamento de efluente industrial, que recebe todo o efluente da área de contribuição.

*Figura 4: Canaleta obstruída que deveria interligar o efluente à ETEI*



Fonte: VLI, 2018.

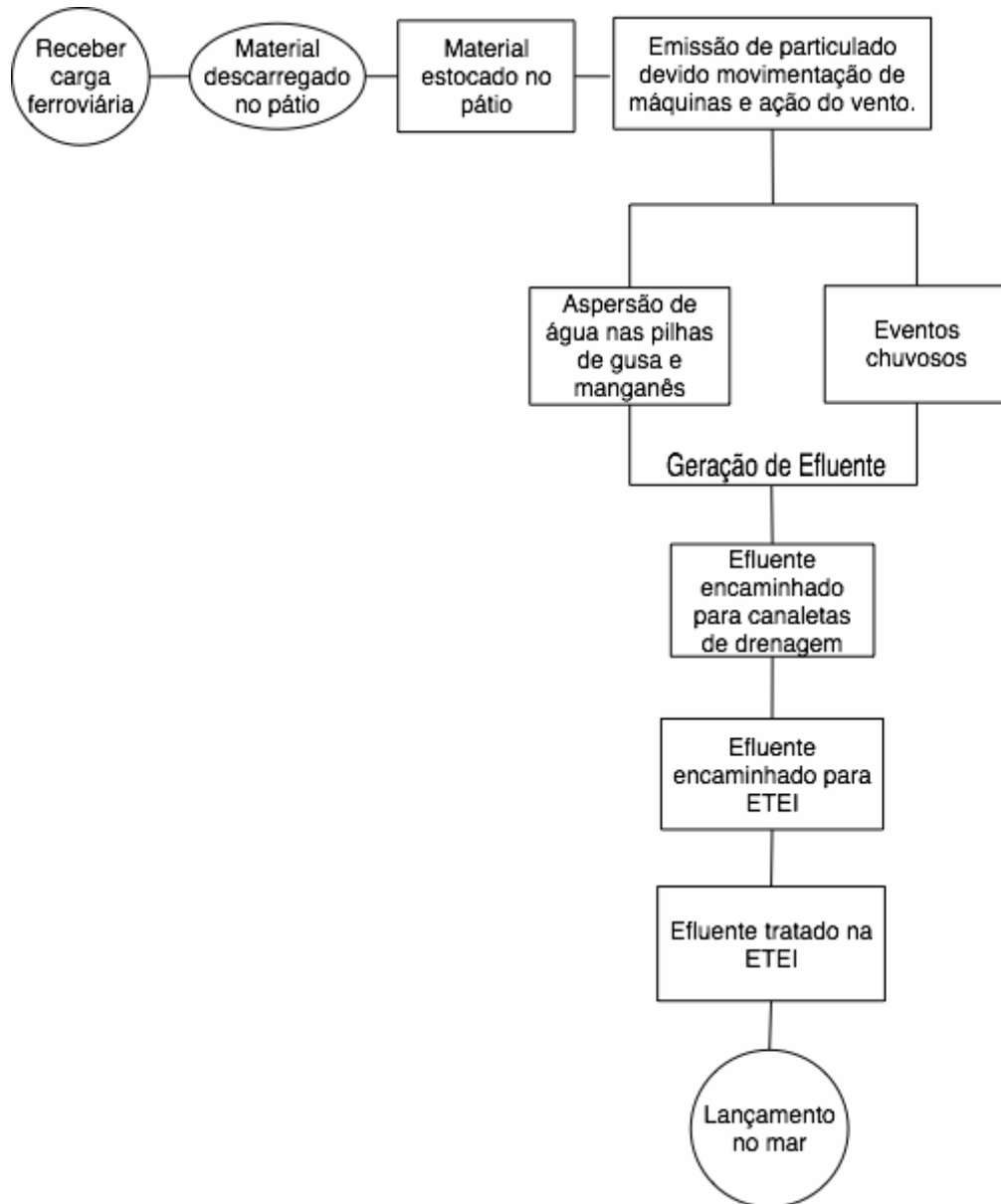
*Figura 5: Canaleta obstruída com manganês*



Fonte: VLI, 2018.

A água proveniente da drenagem carrega consigo diversos poluentes que são dispersos durante o processo de descarregamento, armazenamento, carregamento e transporte de grãos e minérios. Esses poluentes, após o encaminhamento do efluente para a estação de tratamento de efluentes industriais, serão tratados e posteriormente lançados ao mar (VLI, 2017c). Os poluentes potencialmente presentes nesses efluentes, de acordo com as características da atividade exercida, poderão ser: manganês dissolvido, ferro dissolvido, sólidos sedimentáveis, matéria orgânica e material flotante. Existe ainda, a possibilidade de redução do pH, devido a degradação da matéria orgânica, proveniente da decomposição dos resíduos de soja e milho que podem estar sendo carreados até o sistema de drenagem (TECMA, 2016a). O processo de geração do efluente está relacionado com toda a cadeia de operação, já explicada anteriormente, e pode ser melhor visualizado na figura 6.

Figura 6: Esquema ilustrativo do processo de geração de efluente industrial



Fonte: Elaboração própria.

### 3.3 Características dos Efluentes

As características que um efluente irá apresentar dependem entre outros fatores da sua fonte geradora, podendo ser doméstica, sanitária, industrial e pluvial, ou seja, depende do uso que foi dado a água antes do seu descarte (VON SPERLING, 2007). Os efluentes sanitários são aqueles denominados como líquidos residenciais, comerciais, águas de infiltração na rede coletora, nos quais podem conter parcelas de efluentes industriais e efluentes não domésticos (BRASIL, 2011). De acordo com a NBR 9648/1986 esgoto doméstico é todo despejo líquido

resultante do uso de água para satisfazer as necessidades fisiológicas humanas e para higiene. Ainda com referência à norma da ABNT, conceitua-se também esgoto industrial como efluente líquido resultante dos processos industriais e similarmente; define-se o esgoto pluvial como a parcela de deflúvio superficial que inevitavelmente é absorvida pela rede coletora.

Como o efluente industrial é o foco do presente trabalho, será dedicado nesse referencial uma atenção maior ao mesmo. Segundo Cavalcanti (2012), os despejos industriais são correntes líquidas vindas de processos e operações que podem estar acompanhados também de águas pluviais contaminadas e esgotos sanitários. Esses efluentes são extremamente variáveis, tanto em quantidade quanto em composição e irão depender do produto fabricado, do tamanho da indústria, da modernidade dos processos produtivos, do tipo de matéria-prima utilizada e de como é feita a gestão desse efluente (NUNES, 2004).

Com isso, a caracterização de um efluente industrial se dá primeiramente a partir da distinção do tipo de efluente que está sendo relatado de acordo com sua origem e, posteriormente, através da utilização de parâmetros físicos, químicos e biológicos que irão definir a qualidade da água residual (CAVALCANTI, 2012). Assim sendo, os despejos industriais possuem características físico-químico e biológicas bastante diversificadas e, em consequência disso, variam-se também os parâmetros a serem analisados na sua caracterização, dando importância para aqueles relativos à atividade industrial (TELLES; COSTA, 2010). De acordo com Von Sperling (2007), os principais parâmetros a serem analisados nos efluentes industriais são mostrados na tabela 1, variando, portanto, de acordo com o ramo da atividade exercida.

Tabela 1: Principais parâmetros analisados nos efluentes industriais (continua...)

Ramo	Atividade	DBO ou DQO	SS	Óleos e graxas	Fenóis	pH	CN -	Metais
Produtos alimentares	Usinas de açúcar e álcool	x	x		x	x		
	Conservas carne/peixe	x	x			x		
	Laticínios	x	x	x		x		
	Matadouros e frigoríficos	x	x	x				
	Conserva de frutas e vegetais	x	x			x		
	Moagem de grãos	x	x					
Bebidas	Refrigerantes	x	x	x		x		
	Cervejaria	x	x	x		x		
Têxtil	Algodão	x				x		
	Lã	x		x		x		
	Sintéticos	x				x		
	Tingimento			x	x	x	x	
Couros e pele	Curtimento vegetal	x	x	x		x		x
	Curtimento ao cromo	x	x	x		x		x
Papel	Processamento da polpa-celulose	x	x			x		x
	Fábrica de papel e papelão	x	x			x		x
Produtos minerais não metálicos	Vidros e espelhos		x	x		x		x
	Fibras de vidro	x	x	x	x			
	Cimento		x	x		x		x
	Cerâmica		x	x				
Borrachas	Artefato de borracha	x	x	x		x		
	Pneus e câmares	x	x	x		x		
Produtos químicos	Produtos químicos (vários)				x	x	x	
	Laboratório fotográfico							
	Tintas e corantes							
	Inseticidas					x		
	Desinfetantes				x			

*Tabela 1: Principais parâmetros analisados nos efluentes industriais (continuação).*

Plásticos	Plásticos e resinas	x	x		x	x		x
Perfumaria e sabões	Cosméticos, detergentes e sabões	x		x				x
Mecânica	Produção de peças metálicas			x	x			
Metalúrgica	Produção de ferro gusa	x	x	x	x	x	x	x
	Siderúrgicas		x	x		x	x	x
	Tratamento de superfícies		x	x	x	x	x	x
Derivados de petróleo	Combustíveis e lubrificantes	x		x	x	x		
	Usinas de asfalto		x	x				
Artigos elétricos	Artigos elétricos						x	x
Madeira	Serrarias, compensados	x						
Serviços pessoais	Lavanderias	x		x		x		

Fonte: Sperling, 2007.

Em resumo, segundo Telles e Costa (2010), os parâmetros considerados principais são divididos entre biológicos e químicos. Na análise biológica, são consideradas a biodegradabilidade do composto, a tratabilidade, sua concentração de matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes e sua toxicidade. Para a análise química, por sua vez, serão considerados de grande importância os cianetos e metais, o pH e os fenóis.

Tais parâmetros são definidos pela resolução CONAMA 430/11 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Os parâmetros e padrões exigidos pela resolução para lançamentos de efluentes provenientes de sistemas de tratamento de esgotos industriais são mostrados na tabela 2.



*Tabela 2: Condições de lançamento de efluentes*

<b>Parâmetro</b>	<b>Padrão CONAMA 430/11</b>
pH	entre 5 e 9
Temperatura	inferior a 40°C
Materiais sedimentáveis	até 1 mL/L
DBO5	remoção mínima de 60%
Óleos e graxas minerais	até 20 mg/L
Óleos vegetais e gorduras animais	até 50 mg/L
Materiais flutuantes	Ausentes

Fonte: CONAMA, 2011.

A resolução define ainda os parâmetros inorgânicos e orgânicos e seus respectivos padrões de lançamento como pode ser visto na tabela 3.

Tabela 3: Padrões de lançamento de efluentes - Parâmetros Inorgânicos e Orgânicos (continua...)

<b>Parâmetros Inorgânicos</b>	<b>Valores Máximos</b>
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total (Não se aplica para o lançamento em águas salinas)	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	1,0 mg/L CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr <sup>+6</sup>
Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr <sup>+3</sup>
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F

*Tabela 3: Padrões de lançamento de efluentes - Parâmetros Inorgânicos e Orgânicos (continua...)*

Zinco total	5,0 mg/L Zn
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercúrio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
<b>Parâmetros Orgânicos</b>	<b>Valores Máximos</b>
Benzeno	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroeteno (somatório de 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg/L
Estireno	0,07 mg/L
Etilbenzeno	0,84 mg/L

*Tabela 3: Padrões de lançamento de efluentes - Parâmetros Inorgânicos e Orgânicos (continuação).*

fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L
Tolueno	1,0 mg/L
Tricloroeteno	1,2 mg/L
Xileno	1,6 mg/L

Fonte: CONAMA, 2011.

O artigo 22 da resolução 430 do CONAMA estabelece ainda que o lançamento de efluentes industriais por meio de emissários submarinos deve atender, após tratamento, aos padrões e condições de lançamento previstos nesta resolução, aos padrões da classe do corpo receptor, após o limite da zona de mistura, e ainda ao padrão de balneabilidade, de acordo com as normas e legislação vigentes no local de lançamento.

Na tabela 4 são mostrados os poluentes comumente encontradas nos efluentes industriais. No entanto, devido a grande diversidade de categorias das atividades industriais, torna-se impraticável a padronização da composição e qualidade desses efluentes, bem como dos parâmetros a serem analisados (CAVALCANTI, 2012). Portanto, considera-se cada tipo de empreendimento um caso específico a ser estudado (TELLES; COSTA, 2010).

Tabela 4: Principais poluentes de despejos industriais (continua...)

<b>Poluentes</b>	<b>Origem dos poluentes</b>
acetaldeído	plásticos, borracha sintética, corante
ácido acético	vinícolas, indústrias têxteis, destilação de madeira, indústrias químicas
acetileno	sínteses orgânicas
acrolonitrila	plásticos, borracha sintética, pesticida
amônia	manufatura de gás e carvão, operação de limpeza com "água amônia"
acetato de amônia	tintura em indústria têxtil e preservação da carne
cloreto de amônia	tintura, lavagem do curtimento
dicromato de amônia	mordentes, litografia, fotografação
fluoreto de amônia	tintura em indústria têxtil e preservação de madeira
nitrate de amônia	fertilizantes, explosivos, indústrias químicas
sulfato de amônia	fertilizantes
anilina	tinturas, vernizes e borrachas
bário (acetato)	mordente em tinturaria
bário (cloreto)	manufatura de tintas, operações de curtimento
bário (fluoreto)	tratamento de metais
benzeno	indústria química, na síntese de compostos orgânicos, tinturaria e outras operações têxteis
butil (acetato)	plástico, couro artificial e vernizes
carbono (dissulfeto)	manufatura de gases e indústria química
carbono (tetracloro)	indústrias químicas
cromo (hexavalente)	decapagem de metais, galvanização, curtumes, tintas, explosivos, papéis, águas de refrigeração, mordente, tinturaria em indústrias têxteis, fotografia, cerâmica
cobalto	tecnologia nuclear, pigmentos

*Tabela 4: Principais poluentes de despejos industriais (continua...)*

cobre (cloreto)	galvanoplastia de alumínio, tintas indelévels
cobre (nitrato)	tinturas têxteis, impressões fotográficas, inseticidas
cobre (sulfato)	curtimento, tintura, galvanoplastia, pigmentos
diclorobenzeno	solventes para ceras, inseticidas
dietilamina	indústria petroquímica, fabricação de resina, indústria farmacêutica, tintas
etilamina	refinação de óleo, síntese orgânica de fabricação de borracha sintética
sulfato ferroso	fábrica de conservas, curtumes, têxteis, minas, decapagem de metais
formaldeído	curtumes, penicilinas, plantas e resinas
furfural	refino de petróleo, manufatura de vernizes, inseticidas, fungicidas e germicidas
chumbo (acetato)	impressoras, tinturarias e fabricação de outros sais de chumbo
chumbo (cloreto)	fósforo, explosivos, mordente
chumbo (sulfato)	pigmentos, baterias, litografia
mercaptana	alcatrão de carvão e celulose kraft
mercúrio (cloreto)	fabricação de monômeros
mercúrio (nitrato)	explosivos
composto orgânico-mercúrio	descarga de “água branca” em fábricas de papel
metilamina	curtimento de síntese orgânica
níquel (cloreto)	galvanoplastia e tinta invisível
níquel (nitrato)	galvanização
piridina	piche de carvão e fabricação de gás
sódio (bissulfato)	têxteis, papel e indústrias fermentativas
sódio (cloreto)	indústria cloro-álcali

*Tabela 4: Principais poluentes de despejos industriais (continuação.)*

sódio (carbonato)	indústria química e de papel
sódio (cianeto)	banhos eletrolítico
sódio (fluoreto)	pesticidas
sódio (hidróxido)	celulose e papel, petroquímicas, óleos minerais e vegetais, destilação de carvão
sódio (sulfato)	fabricação de papel
sódio (sulfeto)	curtume, celulose kraft
sulfúrico (ácido)	produção de fertilizantes, outros ácidos explosivos, purificação de óleos, decapagem de metais, secagem de cloro
ureia	produção de resinas e plásticos, sínteses orgânicas
zinco	galvanoplastia
zinco (cloreto)	fábrica de papel, tinturas

Fonte: Braile; Cavalcanti, 1993.

Com tudo, as características dos despejos industriais, em resumo, vão depender essencialmente do tipo de atividade industrial que é executada e como se dá o processo. Como visto, alguns autores apresentam uma relação dos principais parâmetros que deverão ser monitorados para caracterização do efluente industrial. No entanto, essas orientações só servem como um guia, pois determinados parâmetros podem não ser relevantes para a atividade de uma empresa, mas ser imprescindível no monitoramento de uma indústria que executa uma atividade diferente (NUNES, 2001). Dessa forma, de acordo com a necessidade do estabelecimento, poderão ser adicionados ou excluídos parâmetros de maior ou menor interesse, respectivamente (VON SPERLING, 2007).

Para o presente trabalho, vale ressaltar alguns parâmetros e suas respectivas propriedades, sendo eles a DBO, DQO, sólidos sedimentáveis e o manganês dissolvido. Os parâmetros de DBO e DQO estão entre os principais indicadores de poluição orgânica. A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é um parâmetro que estima indiretamente a concentração de material orgânico biodegradável através do consumo de oxigênio dissolvido

por meio da ação de microorganismo. Já o parâmetro DQO (Demanda Química de Oxigênio) é a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação da matéria orgânica, biodegradável ou não, por meio de um agente químico oxidante forte (SILVA, 2014). Esses parâmetros podem ser correlacionados por meio da relação de biodegradabilidade, que segundo Silva (2014), indica o grau de biodegradação que a amostra sofre e através disso sugere o tratamento mais adequado para o efluente. Os sólidos sedimentáveis, por sua vez, são a porção dos sólidos que, a partir de um litro de amostra, se sedimentam após uma hora sob a ação da gravidade no cone imhoff (SABESP, 2009).

O manganês, entretanto, é um metal de cor acinzentada, que não ocorre em sua forma elementar, mas sim combinado a outras substâncias. A atividade humana é capaz de modificar o composto e utilizá-lo para a produção de diversos produtos, especialmente aços (CETESB, 2018). A principal forma de ocorrência do manganês é o dióxido mangânico, ou também como rodocrosita ( $MnCO_3$ ). O manganês é encontrado com certa frequência em águas poluídas por certos resíduos industriais ou em algumas atividades de mineração (MORUZZI, 2012). O composto se associa facilmente à matéria orgânica, formando colóides e, uma vez que essa associação é verificada, a remoção desses complexos se torna uma tarefa difícil (RAMOS, 2010). Sobre a toxicidade do composto ainda não se sabe muito, mas existem evidências que indicam que a exposição a níveis muito elevados de manganês podem induzir efeitos neurológicos, observados diante exposições humanas crônicas por via inalatória (CETESB, 2018). A avaliação da ocorrência desses parâmetros é uma importante ferramenta para o conhecimento do efluente a ser tratado, pois permite a escolha do tratamento adequado e, assim, evita seus efeitos maléficos ao ambiente e aos seres humanos que por ventura entrem em contato com esse efluente.

### **3.4 Principais Sistemas de Tratamento de Efluentes Industriais**

Os despejos industriais podem causar efeitos tóxicos e nocivos ao meio ambiente, se lançados nos corpos hídricos fora dos padrões, ou da capacidade suporte do corpo receptor, estabelecidos pelas normas e legislações (CAVALCANTI, 2012). Com isso, no intuito de preservar o meio ambiente é preciso tratar o efluente gerado nos processos industriais. Hoje em dia, são conhecidos diversos métodos e tecnologias capazes de tratar esses efluentes de acordo com cada uma de suas particularidades. No entanto, no presente momento do estudo



iremos abordar os tratamentos de uma forma mais geral. Serão abordados a seguir, os métodos de tratamento pertinentes a um despejo industrial, sendo eles os métodos físicos, químicos e físico-químicos, e os métodos biológicos e seus respectivos processos e operações unitárias.

Os métodos físicos são caracterizados pelo uso de força física e compreendem o gradeamento, peneiramento, filtração, sedimentação, flotação, aeração, stripping, adsorção, eletrodiálise e eletrodeionização. Tais operações são responsáveis pela remoção de sólidos em suspensão, areias, óleos e gorduras (CAVALCANTI, 2012). Um dos objetivos do tratamento físico é a proteção das unidades das etapas subsequentes do processo, proteção dos equipamentos que transportam o efluente, como tubulações e bombas que poderiam colmatar, e a proteção dos corpos receptores (VON SPERLING, 2007). O tratamento físico em geral é utilizado de forma combinada a outros tratamentos para garantir maior qualidade da água residual.

Nos métodos químicos e físico-químicos, ocorre a transformação de poluentes, realizada através da adição de produtos químicos, ou por meio da ocorrência de reações químicas. Por meio das reações, o tratamento químico pode ainda modificar a estrutura de compostos orgânicos persistentes, tornando-os acessíveis à degradação biológica. Neste método, estão envolvidos os processos de floculação, adsorção e oxidação/redução responsáveis por remover, por exemplo, material coloidal, cor, turbidez, odor, remover ou neutralizar ácidos e álcalis, remover metais pesados e óleos do efluente. Os principais processos unitários utilizados para tratamento químico e físico-químico são correção de pH, precipitação química, oxi-redução, troca-iônica e processos oxidativos avançados (CAVALCANTI, 2012).

Nos métodos biológicos, por sua vez, a remoção dos poluentes ocorre por meio de atividades biológicas que irão acelerar a degradação dos poluentes. Substâncias orgânicas biodegradáveis contidas no efluente são convertidas em gases ou absorvidas através da ação de microrganismos. O tratamento biológico pode ainda ser utilizado na remoção de nutrientes como fósforo e nitrogênio do efluente. No entanto, para que a decomposição biológica ocorra, é necessário a manutenção de um ambiente com temperatura, pH e tempo de contato favoráveis. Existem diversos tipos de processos biológicos, podendo ser aeróbio e/ou anaeróbio, e a escolha de sua aplicação se dará de acordo com as necessidades do efluente a ser tratado (CAVALCANTI, 2012). Segundo Von Sperling (2007), os métodos biológicos

mais utilizados são os lodos ativados, lagoas aeradas, lagoas de estabilização, filtros biológicos, reatores anaeróbios de fluxo ascendente e lagoas anaeróbias.

Os processos e operações unitárias também se diferenciam devido a sua natureza física, química ou biológica. Quando a remoção dos contaminantes é feita pela ação de uma força exclusivamente física, dá-se o nome de operação unitária. Já os métodos que ocorrem devido a uma reação química ou biológica, denomina-se processos unitários (CAVALCANTI, 2012).

As estações de tratamento de efluentes industriais, também conhecidas como ETEI's, são sistemas amplamente utilizados como soluções para o tratamento de efluentes industriais. Para escolha do tratamento adequado é necessário conhecer o nível de remoção exigido em legislação e a natureza dos poluentes, para posteriormente, escolher os processos e operações unitárias que seriam eficazes (NUNES, 2004). Na tabela 5 são mostrados os principais tratamentos utilizados na remoção de poluentes específicos.

*Tabela 5: Principais processos e operações unitárias de tratamentos aplicados a alguns contaminante (continua...)*

<b>CONTAMINANTES</b>	<b>PROCESSOS E OPERAÇÕES UNITÁRIAS</b>
Óleos e graxas	Separação por gravidade diferencial
	Flotação
	Filtração por membrana
Sólidos em suspensão	Peneiramento
	Remoção de areia
	Sedimentação
	Filtração
	Flotação
	Coagulação/ Sedimentação

*Tabela 5: Principais processos e operações unitárias de tratamentos aplicados a alguns contaminante (continua...)*

Orgânicos biodegradáveis	Lodos ativados e suas modalidades
	Filtros biológicos
	Reatores biológicos rotativos
	Lagoas airadas e de estabilização e suas associações
	Sistemas anaeróbios
Orgânicos voláteis	"Stripping"
	Adsorção em carvão ativado
Patógenos	Cloração
	Hipocloração
	Ozonização
	UV
Nitrogênio	Tratamentos biológicos
	“Stripping” de amônia
	Troca iônica
	Cloração
Fósforo	Coagulação
	Tratamentos biológicos
Orgânicos refratários	Adsorção em carvão ativado
	Precipitação química
	Tratamentos oxidativos avançados
	Incineração
Metais pesados	Precipitação química
	Troca iônica

*Tabela 5: Principais processos e operações unitárias de tratamentos aplicados a alguns contaminante (continuação).*

Sólidos dissolvidos	Troca iônica
	Osmose reversa
	Eletrodialise reversa

Fonte: Cavalcanti, 2012.

O tratamento de efluentes industriais gera um material com alto teor de umidade, o lodo de esgoto, que também precisa ser preparado e destinado de forma correta (FREITAS, 2014). Assim sendo, Freitas (2014) aponta que o lodo proveniente de ETEI's precisa ser adensado, para que seu volume diminua e, posteriormente, desidratado para retirada do teor de umidade. Ao fim do processo, o lodo é encaminhado para aterros sanitários ou utilizados em outras práticas mais sustentáveis, e o efluente é lançado aos rios ou até mesmo reutilizados.

Devido à grande diversidade de métodos disponíveis para o tratamento de efluentes, sua escolha deve ser feita com base no caráter técnico e econômico de cada tipo. Pretende-se que o método escolhido seja sempre o que melhor atenda as necessidades de tratamento do local não causando contaminações e, ao mesmo tempo, seja viável economicamente. A fim de reduzir os riscos de contaminação dos cursos d'água e do solo, a resolução CONAMA 430/11 ressalta que os efluentes de qualquer fonte poluidora, somente poderão ser lançados diretamente nos cursos hídricos se obedecerem os padrões e exigências dispostos na mesma.

### **3.5 O Sistema de Tratamento do Efluente Industrial do Terminal Portuário**

Como visto no capítulo anterior, os processos físico-químicos, são recomendados no tratamento de efluentes contendo poluentes inorgânicos, metais pesados e sólidos em suspensão através do processo de coagulação-floculação. E, são recomendados ainda, para a remoção de matérias orgânicas não biodegradáveis e sólidos dissolvidos por meio da precipitação química (NUNES, 2001).

A unidade de tratamento de efluente de interesse para o presente estudo é a estação de tratamento de efluentes industriais que recebe despejos do pátio de gusa e manganês do terminal. O método de tratamento utilizado na ETEI é o físico-químico, por meio do processo de precipitação química. O mesmo foi escolhido pela empresa TECMA, com base em estudos de tratabilidade realizados anteriormente com efluentes contaminados, principalmente por manganês, em outros empreendimentos (TECMA, 2016). O empreendimento 1, trata-se de um terminal de estocagem e manuseio de minério de ferro e derivados de petróleo, que gera um efluente com as características descritas na tabela 6.

*Tabela 6: Características do efluente - Empreendimento 1*

Parâmetros	Efluente Bruto	Efluente Tratado			Art. 21 CONAM A 430	Res. 02 CONDEM A
		Filtração Rota 01	Coagulação Rota 02	Osmose Rota 03		
Cádmio, mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,2	0,1
Chumbo, mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,5	0,5
DBO, mg/L de O <sub>2</sub>	14	< 5	< 5	5	-	Redução > 90%
DQO, mg/L de O <sub>2</sub>	2642	5	10	10	-	200
Manganês, mg/L	8,8	* 2,1	0,5	< 0,1	1,0	1,0
Sólidos Sedimentáveis, mL/L	6,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,0	< 0,5
pH	5,1	7,0	6,7	6,3	5,0 - 9,0	6,0 - 9,0
SST, mg/L	1450	< 1	< 1	< 1	-	100
SSV, mg/L	1053	< 1	< 1	< 1	-	—
Zinco, mg Zn/L	0,6	0,2	0,2	< 0,1	5,0	1,0

Fonte: TECMA, 2016.

Já o empreendimento 2 trata-se de uma empresa de mineração e metalurgia de metais, que gera um efluente industrial com as características apresentadas na tabela 7.

*Tabela 7: Características do efluente - Empreendimento 2*

Parâmetros	Efluente Bruto	Efluente Tratado		Art. 21 CONAM A 430	Res. 02 CONDEM A
		Precipitação Ca (OH) <sub>2</sub> Rota 01	Físico-químico o Rota 02		
Amônia, mg/L	< 0,1	-	< 0,1	-	-
Cádmio, mg/L	3,24	< 0,1	< 0,1	0,2	0,1
Chumbo, mg/L	1,59	< 0,1	< 0,1	0,5	0,5
Manganês, mg/L	7,20	< 0,1	0,38	1,0	1,0
Mercúrio, mg/L	> 0,02	-	< 0,01	-	-
pH	1,85	11,53	7,94	5,0 - 9,0	6,0 - 9,0
Sulfito, mg/L	< 1,0	-	< 1,0	-	-
Zinco, mg Zn/L	> 155	0,12	0,47	5,0	1,0

Fonte: TECMA, 2016.

Dessa forma, com base na proximidade das atividades exercidas, principalmente do empreendimento 1, da eficácia nos tratamentos dos efluentes dos dois empreendimentos, e do conhecimento prévio do prováveis poluentes a serem tratados na estação foram definidas as etapas do tratamento a ser utilizado no terminal portuário.

A estação localiza-se no pátio C, figura 7, recebendo os efluentes industriais de toda a área de contribuição, figura 8, conforme esquematizado na figura 9. A área de contribuição da estação, como o próprio nome já diz, favorece o arraste de efluentes de outras áreas para a estação. A área de contribuição onde se encontram os silos de armazenamento de grãos, por exemplo, aparenta ter grande interferência na qualidade do efluente, conferindo a ele uma carga elevada de matéria orgânica subindo as concentrações dos parâmetros de DBO e DQO.

A estação e o pátio, conforme mostrado nas figuras 7 e 8, respectivamente, estão localizadas muito próximos ao estuário, o que aumenta o risco de lançamento acidental de efluente não tratado ao mar, podendo vir a ser um problema em caso de episódios de chuvas intensas. Um volume de chuva acima da média pode causar extravasamento da bacia de sedimentação, ou até mesmo o aporte direto de minério de manganês para o mar.

*Figura 7: Vista aérea da ETEI*



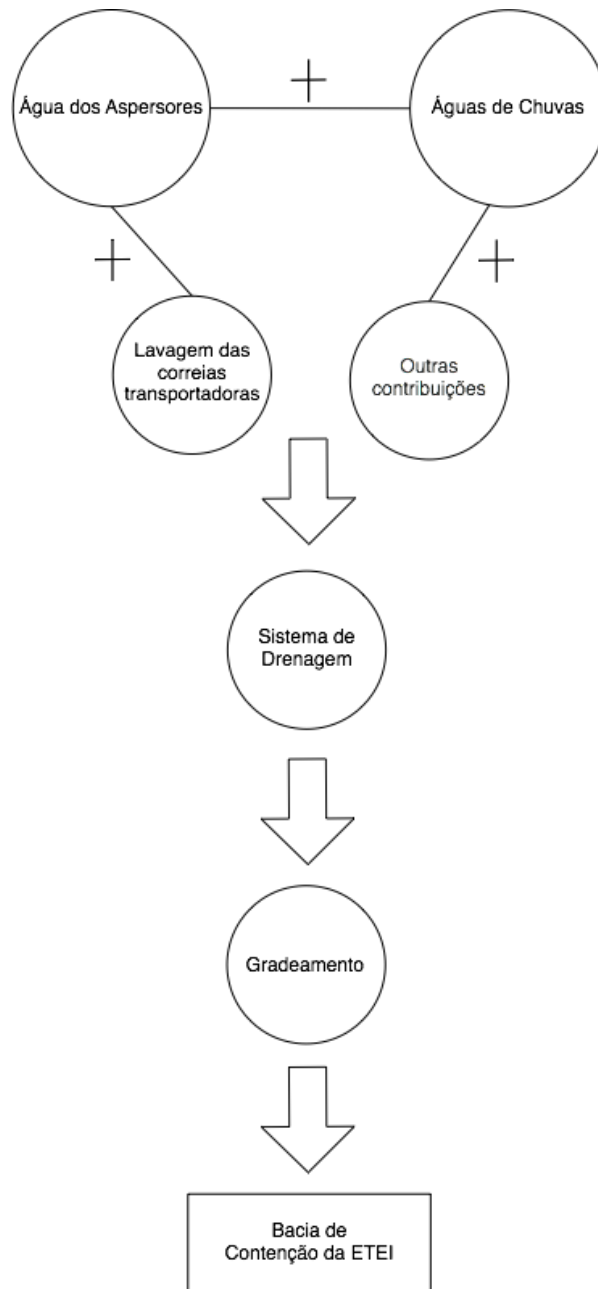
Fonte: Acervo próprio, 2018.

*Figura 8: Vista parcial do pátio de manganês com geração de efluente*



Fonte: VLI, 2018.

Figura 9: Fluxo de contribuição da ETEI



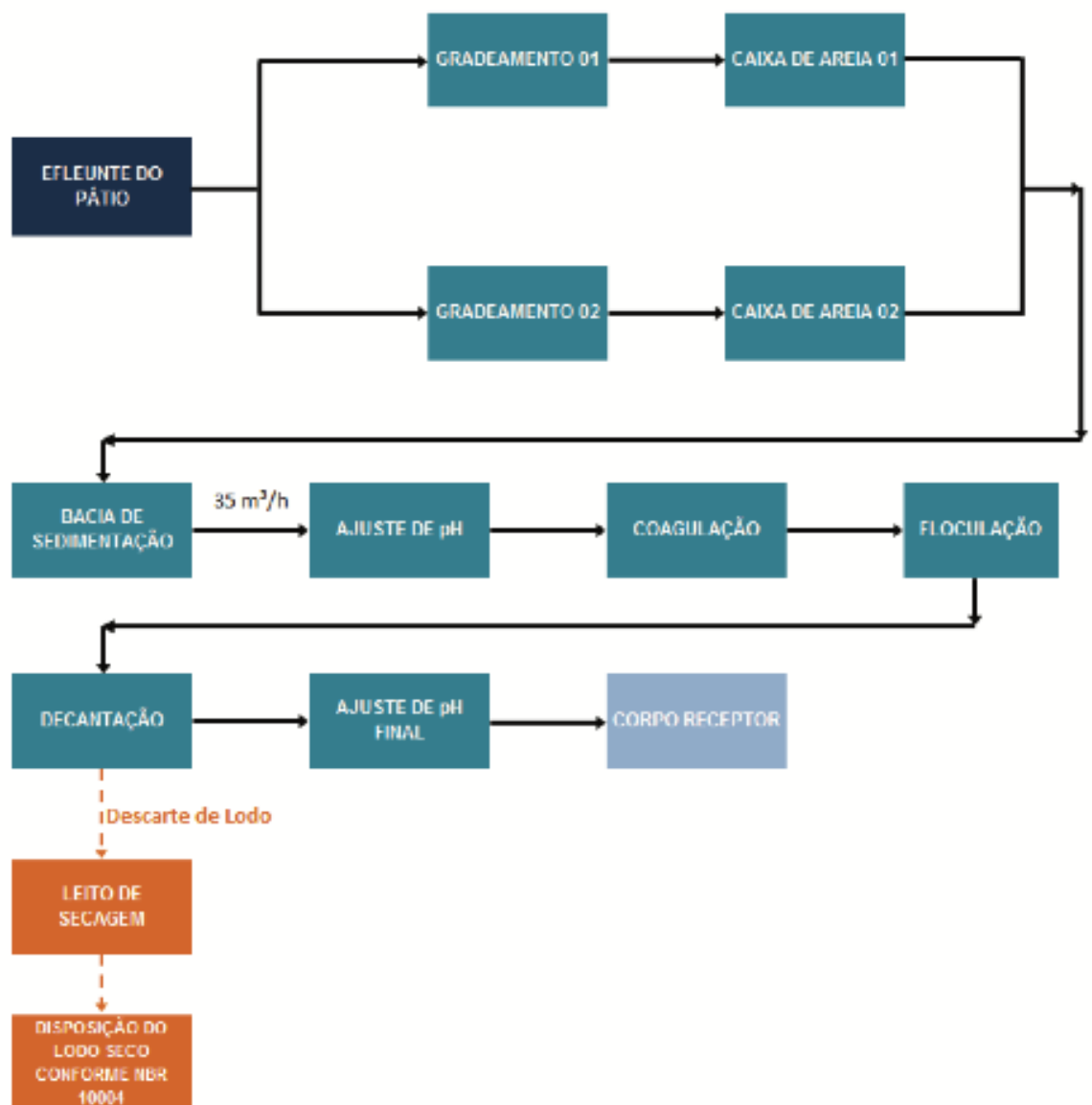
Fonte: Elaboração própria.

Como mostrado no esquema da figura 9, as maiores fontes do efluente gerado são as águas utilizadas na aspersão dos pátios e as águas provenientes da ocorrência de chuvas, que se misturam com o produto depositado no pátio, formando um efluente industrial a ser tratado na ETEI, conforme visto anteriormente na figura 8.



A estação de tratamento de efluente industrial projetada e construída pela empresa Tecma Tecnologia em Meio Ambiente é composta pelas seguintes etapas: gradeamento e caixa desarenadora, bacia de sedimentação, ajuste de pH, coagulação, floculação, decantação e ajuste final de pH, conforme ilustrado na figura 10. A ETEI tem capacidade de tratar 35 m<sup>3</sup>/h de efluente bruto e o processo unitário utilizado no sistema é a precipitação química (TECMA, 2017a).

Figura 10: Fluxograma do processo de tratamento da estação.



Fonte: Tecma, 2017.

Conforme visto na figura 10, o sistema de tratamento do efluente conta com várias etapas que serão detalhadas a seguir. A primeira delas é o gradeamento seguido da caixa desarenadora. Os efluentes são recebidos por um gradeamento manual, formado por barras paralelas de mesma espessura e espaçamento, que tem a função de remover os sólidos grosseiros em suspensão, assim como materiais flutuantes (NUNES, 2001) . Após o gradeamento, o efluente é encaminhado para uma caixa de areia, onde serão sedimentados areia e outros resíduos minerais mais grosseiros presentes na água bruta (NUNES, 2001). O passo seguinte é o recebimento do efluente na bacia de sedimentação, que tem a função de separar a areia e sólidos sedimentáveis do efluente líquido (CAVALCANTI, 2012). Além disso, a bacia de sedimentação na ETEI em questão executa ainda o papel de um reservatório que irá amortecer a vazão afluente da área de contribuição (TECMA, 2017a). Segundo a empresa construtora, nesta unidade estão instaladas duas bombas submersíveis comandadas por bóias de nível, responsáveis por encaminhar o efluente para a próxima etapa do tratamento.

Depois da bacia de sedimentação, o efluente é conduzido para o tanque de ajuste de pH, com a vazão constante de 35 m<sup>3</sup>/h controlada através da caixa controladora de vazão. O volume desse tanque é de 9,7 m<sup>3</sup> e seu tempo de residência é de 15 minutos (TECMA, 2017a). No tanque irá ocorrer a correção automática do pH, possibilitada a partir da instalação de um aparelho indicador/controlador de pH que irá ajustar o pH de forma contínua permitindo que o tratamento ocorra de forma eficiente nas próximas etapas (CAVALCANTI, 2012). A mistura e homogeneização da solução é feita através de um agitador mecânico instalado junto ao tanque.

A partir do tanque de correção, o efluente perpassa por gravidade para o tanque de coagulação, com capacidade para 9,8 m<sup>3</sup> e tempo de residência também de 15 minutos. No tanque de coagulação, com o pH já corrigido, será adicionado continuamente ao efluente uma solução coagulante por meio de uma bomba dosadora. Nesse tanque, será feita uma mistura enérgica da solução com o efluente, através de um misturador mecânico instalado na unidade (TECMA, 2017a).

A água coagulada escoar por gravidade para o tanque de floculação, que possui capacidade de 16,1 m<sup>3</sup> e, dessa vez, terá um tempo de residência um pouco maior de, aproximadamente, 25 minutos (TECMA, 2017a). No tanque ocorre, por meio de mistura moderada, a adição, feita por uma bomba dosadora, de uma dosagem da solução de

polieletrólito atuando como agente floculante. Os polieletrólitos são polímeros que exercem a função de coagulante e floculante, e contém em sua estrutura um monômero eletrolítico que quando em contato com o meio aquoso se dissocia e forma cargas; essas cargas podem ser positivas (polieletrólito catiônico) ou negativas polieletrólito aniônico (CAVALCANTI, 2012). Segundo Cavalcanti (2012), o tipo e a dosagem do polieletrólito irá depender da característica e da quantidade de sólidos no efluente, dos produtos utilizados nas etapas anteriores, do pH e da concentração de sais dissolvidos presentes no meio.

Passado por todas as etapas anteriores o efluente é direcionado para a etapa de tratamento físico-químico, mais especificamente a precipitação química, consistida das fases a seguir. A precipitação de metais na forma de hidróxidos ocorrem em um pH no qual a solubilidade dos metais ferro e manganês presente as concentrações mínimas permitidas pela legislação. Para que ocorra a precipitação de metais, são necessários a observação de dois fatores, a concentração de metais no efluente e o pH. Segundo Cavalcanti (2012), os metais pesados geralmente se encontram dissolvidos no efluente em um pH menor que 7 ou em faixas de pH muito alcalinas. Tendo isso em vista, a remoção de metais é feita através de ajustes do pH, na tentativa de diminuir a sua solubilidade no meio viabilizando a precipitação do metal.

Para cada metal existe um pH ótimo que favorece a sua precipitação, sendo possível alterar o pH sucessivamente até conseguir a precipitação de todos os metais desejados (CAVALCANTI, 2012). Tais ajustes alteram o pH, deixando-o, muitas vezes, fora da faixa aceitável de lançamento do efluente, o que faz com que esse método demande uma correção do mesmo antes de sua disposição final. Dando sequência ao processo, a adição da solução de polieletrólito ao tratamento promove o processo de floculação das partículas anteriormente coaguladas. As mesmas são absorvidas pelas moléculas poliméricas formando um floco que será removido a partir do processo de decantação (TECMA, 2017a).

No processo de decantação, os flocos gerados nas etapas anteriores são separados da fase líquida por meio da sedimentação, gerando, com o passar do tempo, um lodo no fundo do decantador (NUNES, 2004). O lodo formado é bombeado para o leito de secagem e, após seco, é destinado de acordo com procedimento interno da empresa, seguindo as legislações pertinentes (VLI, 2017c). Devido ao processo de precipitação química ocorrido, o pH é ajustado antes do lançamento do efluente para o mar. Nessa estação, o ajuste ocorre de forma automática, através de um indicador de pH que comanda a dosagem da solução de ajuste,

corrigindo o pH do efluente final para a faixa entre 6 a 9, prevista na CONAMA 430/2011. A homogeneização do produto aplicado é feita por um misturador mecânico instalado no tanque de ajuste final de pH. Feito isso, o efluente tratado é finalmente encaminhado para o mar (TECMA, 2017a).

### **3.6 Reuso de Efluentes Industriais em Áreas Portuárias**

A diminuição da disponibilidade hídrica, o aumento do interesse pelo uso de um bem público e a problemática que envolve a destinação adequada dos efluentes gerados a partir do uso das águas motivam pesquisadores, entidades e empresários a pensar em fontes alternativas desse recurso. Segundo Hespanhol (2002), a “substituição de fontes”, no caso a reutilização de efluentes industriais, se mostra como uma alternativa coerente no suprimento de demandas para fins menos nobres. Trata-se de uma forma de liberar recursos para serem utilizados em fins que requeiram uma água de maior qualidade, e ainda evitar que cursos hídricos sejam contaminados pela falta de tratamento dos efluentes.

Muitas são as possibilidades de se fazer o reuso do efluente. Essas alternativas apresentam respaldo em normas e legislações brasileiras, no intuito de assegurar que o reuso não trará consequências negativas para o meio e à saúde humana. Atualmente, o reuso das águas residuais está separado por categorias que permitem inferir quando e onde essa água poderá ser aplicada. São elas, usos urbanos para fins potáveis, usos urbanos para fins não potáveis, usos industriais, recargas de aquíferos e usos agrícolas. As categorias de uso ainda são classificadas de acordo com a restrição do seu uso como potável e não potável, direto e indireto (BRAGA et al.2007).

Os usos urbanos de uma forma geral apresentam alto potencial de reutilização. As oportunidades são diversas, mas deve sempre ser observado cuidadosamente o fim que se pretende aplicar a água residual (TELLES e COSTA, 2010). De acordo com Hespanhol (2002), se a atividade demandar uma qualidade de água elevada, as técnicas para que se torne seguro o reuso do efluente podem ter custos elevados, deixando de ser atrativo para os que a praticam. Os usos urbanos, então, são divididos em uso urbano para fins potáveis e não potáveis.

Quando se trata de usos urbanos de efluentes para fins potáveis existe um potencial de risco associado à saúde humana elevado, que o torna muitas vezes impraticável devido a

custos exorbitantes para a garantia da qualidade da água (BRAGA et al., 2005). Dessa forma, o reuso de águas residuais não é fortemente recomendado para fins potáveis. Todavia, em casos de necessidade extrema, o mesmo deverá seguir padrões criteriosos que garantam a qualidade do efluente tratado (MANCUSO e SANTOS, 2013).

Já os usos urbanos para fins não potáveis vem sendo bastante disseminados. Segundo Hespanhol (2002), as companhias de saneamento têm se preparado cada vez mais para o fornecimento de água de reuso para fins menos nobres. O potencial de reuso vai de irrigação de parques, aspersão de ruas, controles de poeira a utilização da água em sistemas de combate a incêndio por exemplo. Um dos grandes problemas que entrava a maior disseminação do reuso é a dificuldade em distribuir águas de diferentes qualidades para usos mais ou menos nobres. Em se tratando de grandes áreas, o sistema de abastecimento atual é incapaz de operar como um sistema duplo de distribuição, e sua adequação atingiria custos extremamente elevados (FLORENCIO et al., 2006). Dessa forma, de acordo com Florencio et al (2006), o reuso urbano para fins não potáveis se torna mais eficaz se aplicado a áreas próximas a fonte de geração.

Na indústria, de uma forma geral, existem inúmeros processos que demandam uma grande quantidade de água para atendê-los, contudo muitas das vezes não é necessário que a água apresente alta qualidade. Sendo assim, e graças a pressões externas exercidas sobre essas empresas, técnicas têm sido desenvolvidas em prol da reutilização do recurso (HESPANHOL, 2008). Companhias de saneamento oferecem às empresas efluentes tratados, a preços bem mais baixos do que elas pagariam sobre uma “água nova”.

Os efluentes vêm sendo utilizados nas empresas principalmente em torres de resfriamento, irrigação de áreas verdes, umectação de vias, lavagem de peças e demais processos que permitam uma água de qualidade inferior (HESPANHOL, 2002). Apesar de muitas vezes os usos industriais não exigirem padrões elevados de qualidade da água, vale sempre lembrar que as características de qualidade estarão sempre condicionadas ao tipo de uso considerado, não podendo haver negligências em casos que se demande uma qualidade maior do recurso por questões de segurança.

Abordando o uso de efluentes na recarga artificial de aquíferos, nota-se que, no Brasil, o tema ainda é pouco disseminado e pesquisadores em geral assumem posturas mais conservadoras ao alegarem que a prática possui grande potencial de contaminar os reservatórios (HESPANHOL, 2008). Caso a técnica seja utilizada criteriosamente, a mesma

permite o aumento das reservas subterrâneas de forma muito mais rápida que a natural; todavia, para que isso ocorra sem oferecer riscos a qualidade de água dos reservatórios são necessários grandes investimentos no tratamento do efluente.

Por fim, classifica-se o uso agrícola, aquele que se detém praticamente ao reuso de efluentes para a irrigação das culturas (FLORENCIO et al., 2006). É conhecido na literatura que a agricultura é o setor que mais consome água atualmente no Brasil. Dessa forma, pensar em fontes alternativas para essa atividade é imprescindível na tentativa de diminuição da captação vinda diretamente de rios e lagos. A prática de reuso na agricultura vem aumentando no decorrer dos anos, isso se deve aos seguintes fatores: grande dificuldade de encontrar fontes alternativas, alto custo de fertilizantes, riscos à saúde da população constatados como mínimos e custos elevados de tratamento dos efluentes para serem descartados nos corpos receptores (TELLES e COSTA, 2010).

Contudo, por se tratar na maioria das vezes de alimentos que serão consumidos dentro ou fora do país, muitos fatores devem ser monitorados para certificar que a qualidade do produto não será afetada causando principalmente prejuízos à saúde humana.

O reuso nas áreas portuárias se enquadram no uso industrial dos efluentes. Existe um vasto leque de possibilidades de aplicação desse efluente nos portos. A reutilização dessas águas na área portuária pode solucionar problemas de gestão ambiental pertinentes a sua atividade amplamente multidisciplinar (VLI, 2017d). O reuso do efluente minimiza, por exemplo, o risco de lançamento inadequado do mesmo direto ao mar, reduz a demanda de água nova utilizada em suas atividades, possibilitaria maior aspersão de vias, pátios, diminuindo a emissão de material particulado, entre outros (VLI, 2017d).

O estabelecimento de normas e diretrizes a serem seguidas para o reuso de efluentes auxiliam nas tomadas de decisões do processo, pois direciona caminhos mais seguros para a utilização da técnica. Com isso, Bastos e Bevilacqua (2006) buscaram para seu estudo de normas e critérios de qualidade para reuso de água, parâmetros fornecidos pela United States Environmental Protection Agency - USEPA que foram adaptados conforme Tabela 8.

Tabela 8: Critérios de qualidade para reuso de efluentes

Tipo de irrigação e cultura	Processo de Tratamento	Qualidade do Efluente
Usos urbanos irrestritos: irrigação (campos de esporte, parques, jardins e cemitérios, etc.) e usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso irrestrito ao público, descarga de toaletes, combate a incêndios, lavagem de veículos, limpeza de ruas e outros usos com exposição similar	Secundário + filtração + desinfecção	Organismos patogênicos ND
		pH 6 a 9
		DBO < 10mg/L
		Turbidez < 2uT
		CRT > 1mg/L
		CTer ND
Usos urbanos restritos: irrigação (parques, canteiros de rodovia, etc.) e usos ornamentais e paisagísticos em áreas de acesso controlado ao público, abatimento de poeira em estradas vienais, usos na construção (compactação do solo, abatimento de poeira, preparação de argamassa e concreto, etc.)	Secundário + desinfecção	pH 6 a 9
		DBO < 30mg/L
		SST < 30 mg/L
		CRT > 1mg/L
		CTer < 200 MI

Fonte: Bastos adaptado de USEPA, 2006.

Nota: pH - potencial hidrogeniônico; DBO - demanda bioquímica de oxigênio; SST - sólidos suspensos totais; CRT - cloro residual total; CTer - coliformes termotolerantes; ND - não detectável.

Apesar da tabela 8 abordar como diretriz os usos urbanos, a USEPA recomenda os mesmo critérios para os usos industriais, com a ressalva que, para alguns procedimentos específicos na indústria, o efluente pode requerer algum tratamento adicional (BASTOS e BEVILACQUA, 2006).

No Brasil, a norma ABNT NBR 13969/97 regulamenta os tanques sépticos e apresenta alternativas de disposição final dos efluentes líquidos. De acordo com a norma, é viável a

reutilização dessas águas desde que seja feito um tratamento adequado para cada tipo de uso. Os graus de tratamento para o reuso de efluentes sanitários estão descritos na Tabela 9.

*Tabela 9: Classificações e parâmetros para esgotos sanitários conforme reuso*

<b>Águas de Reuso</b>	<b>Aplicações</b>	<b>Padrões de Qualidade</b>
<b>Classe 1</b>	Lavagem de carros e outros usos com contato direto com o usuário	Turbidez < 5 uT; Coliforme fecal inferior a 200 NMP/100 mL; sólidos dissolvidos totais inferior a 200 mg/L; pH entre 6,0 e 8,0; cloro residual entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L
<b>Classe 2</b>	Lavagem de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes	turbidez < 5 uT, coliforme fecal inferior a 500 NMP/100 mL, cloro residual superior a 0,5 mg/L
<b>Classe 3</b>	Reuso nas descargas dos vasos sanitários	turbidez inferior a 10, coliformes fecais inferiores a 500 NMP/100 mL
<b>Classe 4</b>	Reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual	Coliforme fecal inferior a 5 000 NMP/100 mL e oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg/L.

Fonte: ABNT, 1997.

Com isso, estabeleceram-se alguns critérios gerais de qualidade no planejamento do reuso. Devido à possibilidade de contato do usuário com a água, é importante prever os riscos sanitários que a mesma possa trazer, bem como a aceitação do usuário perante ao uso da água recuperada. Sendo assim, são elencados quatro critérios principais a serem observados. O



primeiro deles é a saúde pública, quanto mais exposto o usuário estiver à água, maior o grau de tratamento necessário. O segundo critério diz respeito à aceitação da água pelo usuário, ou seja, a água deverá apresentar qualidade estética a fim de não causar nenhum tipo de objeção ao usuário que a manipulará. Já o terceiro critério trata da preservação do ambiente e reitera que a reutilização do efluente não poderá comprometer a qualidade ambiental do local que está recebendo o reuso. Por fim, o quarto critério geral diz respeito à atenção que se deve ter quanto à qualidade da fonte a ser implantada o reuso, pois alega que a confiabilidade do sistema de reuso pode ser comprometida se o efluente que alimenta o sistema deixa de atender às especificações exigidas (MANCUSO e SANTOS, 2013).

## **4. METODOLOGIA**

### **4.1 Método de Abordagem**

O presente estudo trata de uma pesquisa descritiva, que visa observar os fenômenos que envolvem o funcionamento da ETEI, procurando descrevê-los, classificá-los e interpretá-los, por meio de uma abordagem qualitativa. Com o levantamento dos dados operacionais e do estudo de caso da estação e da sua área de influência, pretende-se obter, por meio da interpretação dos mesmos, correlações que expliquem situações identificadas como problemáticas. E, ainda, traga à tona a reflexão e sugestão de soluções com potencial de melhoria na gestão dos sistemas hídricos e ambientais do terminal portuário.

### **4.2 Método Operacional**

#### **4.2.1 Área de Estudo**

A área onde está sendo realizado o estudo está localizada no município de São Luís, capital do estado do Maranhão. A área em questão, ilustrada na figura 11, trata-se de um terminal portuário (Terminal Portuário de São Luís – TPSL), localizado dentro do complexo portuário Porto do Itaqui, pertencente à empresa Valor da Logística Integrada (VLI).

Figura 11: Localização do Terminal Portuário na capital São Luís.

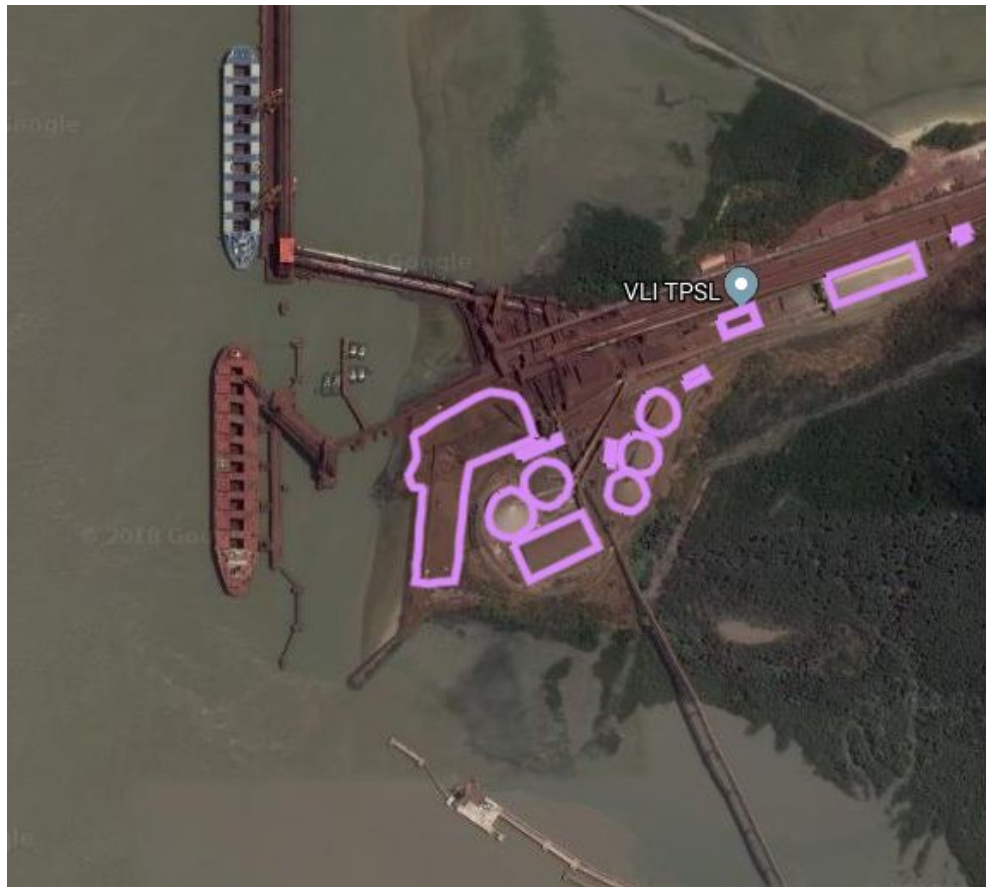


Fonte: Google Maps, 2017.

Segundo dados do IBGE, a população da cidade em 2017 é estimada em 1.091.868 habitantes em uma área de 834,785 km<sup>2</sup>. A cidade localiza-se na ilha Upaon-Açu, no Atlântico Sul, entre as baías de São Marcos e São José de Ribamar, seu clima é tropical úmido (SÃO LUIS, 2018). Segundo o IBGE, em 2010, apenas 65% da cidade contava com um sistema de esgotamento sanitário adequado.

Tratando-se da geração de efluentes do terminal portuário, o mesmo conta com uma estrutura de 7 fossas sépticas, 1 estação de tratamento de efluentes sanitários e 2 estações de tratamento de efluente industrial, uma destinada ao tratamento do efluente gerado na área de armazenamento de grãos e a outra para os efluentes gerados no pátio de gusa e manganês. Esses sistemas recebem efluentes das diversas edificações e processos que compõem o porto, conforme mostrada na figura 12. Nesse trabalho, está sendo estudada a estação de tratamento de efluentes industriais que recebe efluente do pátio de gusa e manganês e da sua área de contribuição conforme ilustrado pelo ANEXO I.

Figura 12: Edificações do Terminal Portuário de São Luís



Fonte: SIGAA. Programa interno de georeferenciamento da VLI.

A figura 12 mostra as principais edificações do terminal destacadas em rosa, são elas o pátio de armazenamento de gusa e manganês, 5 silos para armazenamentos de grãos, 2 armazéns e outras estruturas administrativas. Tanto o pátio de manganês quanto a ETEI estão localizados extremamente próximos à linha de costa, existindo a possibilidade iminente de vazamento de efluente, em episódios com um volume de água acima do máximo suportado pela ETEI. Existe também a possibilidade de carregamento do minério *in natura* para o mar. O minério de manganês, devido à movimentação das pilhas e a sua granulometria, é facilmente arrastado para as canaletas de drenagem e para o mar. Dessa forma, devido aos riscos que essas fragilidades representam, decidiu-se fazer um diagnóstico da estação e do seu entorno na tentativa de se levantar todos os pontos críticos ou de atenção.

A princípio, foi avaliado a relação de episódios de extravasamento de manganês para o mar com os cenários de alta incidência de chuvas e os possíveis impactos que isso traria na qualidade do efluente tratado na ETEI. Isso foi feito através da comparação dos dados

pluviométricos fornecidos por uma estação meteorológica automática do INMET, localizada nas proximidades do terminal, com os dias que foram relatados extravasamento.

Os extravasamentos que foram registrados pelo porto ocorreram nos dias 25/02, 14/03, 12/04 e 16/04 de 2018 coincidindo com os dias de grande volume de chuva nos respectivos meses, com exceção do dia 12/04 que teve um volume de chuva abaixo da média do período e serão discutidos mais adiante.

#### 4.2.2 Caracterização do Efluente

Para a caracterização do efluente primeiramente foi escolhido um ponto de amostragem na entrada, onde foi feita a coleta de efluente bruto, e outro na saída da estação, coletando o efluente tratado antes de seu lançamento ao mar.

As amostras foram coletadas mensalmente em dois pontos de captação, o primeiro na caixa de entrada da bacia de sedimentação, antes de iniciar o tratamento e o segundo, localizado a jusante do decantador, representando o efluente tratado. As amostras foram coletadas e analisadas a partir de junho até dezembro de 2017, sendo interrompidas por questões contratuais com a empresa, a partir do mês de dezembro e retomadas em abril de 2018. As amostras foram encaminhadas para análise em laboratório de ensaio acreditado pela Coordenação Geral de Acreditação do INMETRO (CGQRE). Todas as análises das amostras de efluente utilizadas neste estudo foram fornecidas pela empresa VLI.

Para avaliar a carga poluidora do efluente, foram caracterizados os parâmetros elencados como potencialmente presentes devido a estudos realizados em outras empresas com atividade similar e consulta a literatura a respeito dos principais parâmetros analisados para os despejos industriais (tabela 1), sendo eles: Demanda Bioquímica de Oxigênio ( $DBO_5$ ), potencial hidrogeniônico (pH), sólidos sedimentáveis, óleos e graxas minerais, ferro dissolvido e manganês dissolvido. Foram incluídos na caracterização também os parâmetros exigidos pela Portaria SEMA 105/2011, conforme tabela 10, que define os parâmetros a serem analisados para o tipo de efluente e seus limites máximos conforme estabelecido na legislação CONAMA 430/11. Essa escolha de parâmetros é necessária devido ao fato das características dos efluentes industriais serem extremamente específicas, o que requer uma maior cuidado nesse momento, a fim de se elencar os mais representativos para a atividade estudada.

*Tabela 10: Potenciais poluentes do efluente e seus limites estabelecidos pela CONAMA 430/11*

<b>Parâmetro</b>	<b>Padrão CONAMA 430/11</b>
DBO5	remoção mínima de 60%
DQO	-
Manganês dissolvido, mg/L Mn	1,0 mg/L
Ferro dissolvido, mg/L Fe	15 mg/L
Óleos minerais (hidrocarbonetos)	até 20 mg/L
Óleos vegetais e gorduras animais	até 50 mg/L
pH (campo)	entre 5 e 9
Sólidos sedimentáveis	1 mL/L
Temperatura	< 40° C

Fonte: Adaptado de CONAMA, 2011.

Foram realizadas, ainda, no instante de inauguração da estação, três análises sequenciais, a partir de coletas realizadas nos dias 27, 28 e 30 de junho, com o objetivo de atestar a performance inicial da estação. Para a avaliação dos resultados foram consideradas somente a análise do mês de junho realizada em funcionamento normal da estação, as análises usadas no start da estação foram desprezadas por não representarem à realidade do funcionamento da mesma. Os resultado de todas as análises podem ser verificados no Anexo II - Resultados das Análises do Efluente Industrial.

#### 4.2.3 Avaliação das Análises do Efluente Tratado

Em consulta à administração do Porto do Itaqui, à Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão (SEMA), e a Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA), constatou-se que, no que diz respeito à gestão das águas, ambos utilizam as seguintes legislações: Portaria SEMA 105/2011, Resolução CONAMA 357/2005, Resolução CONAMA 430/2011 e Resolução CONAMA 274/2000. No entanto, para avaliação da qualidade dos efluentes e dos padrões de lançamento em corpos hídricos, somente a resolução CONAMA 430/11 e a Portaria SEMA 105/2011 são pertinentes.

As análises dos resultados do efluente tratado foi feita a partir dos dados do laboratório e em conformidade com a resolução CONAMA 430/11. Os parâmetros e seus respectivos limites exigidos pela resolução podem ser vistos na Tabela 10.

Foram avaliados uma série de resultados das análises (Anexo II) em um período de 6 meses para averiguar a eficiência continuada do tratamento na remoção dos parâmetros citados acima, e ainda uma análise isolada do mês de abril de 2018. As análises apresentaram alta variação mensal dentre os parâmetros de DBO, DQO, manganês. Portanto, decidiu-se avaliar somente os parâmetros DBO, DQO e manganês no estudo, visto que são importantes indicadores de qualidade do efluente e que os demais se apresentaram dentro do padrão CONAMA 430/11 para lançamento de efluentes. Para esses parâmetros, tentou-se estabelecer algumas relações que possibilitassem o levantamento do que pode estar causando a piora na eficiência do sistema.

Na tentativa de elaborar uma justificativa para os parâmetros fora do padrão e suas causas, foram estudadas, de acordo com a necessidade de cada caso, algumas relações com o intuito de levantar possíveis justificativas para o ocorrido. Para tentar atribuir sentido as análises, depois dos resultados terem sido avaliados como um todo, e percebido uma alta variação mensal dos parâmetros, optou-se por tentar levantar hipóteses que justificassem tamanha variação, conectando alguns fatores externos que pudessem ter causado impacto no processo de tratamento, os mesmo estão listados a seguir.

Relação 1: Análise do potencial de biodegradabilidade do efluente associado ao processo de tratamento escolhido para a estação.

Relação 2: Influência dos episódios de alto volume de chuva com a variação da concentração de DBO e DQO no efluente.

Relação 3: Influência dos processos de movimentação de produtos (soja, milho e manganês) com a variação nos parâmetros de DBO, DQO e manganês.

Relação 4: Impacto de uma ocorrência de perda de soja com o pico de concentração de DBO e DQO no mês de setembro

Relação 5: Influência dos Problemas de Drenagem Apontados na Operação da Estação

Relação 6: Confiabilidade e precisão do laboratório de análise.

Para a análise do potencial de biodegradabilidade do efluente foi utilizada a metodologia proposta por Braile e Cavalcanti (1993), que propõe que se a relação entre DQO/DBO for menor que 2 devem ser utilizados tratamentos biológicos e caso seja maior são sugeridos outros tratamentos, conforme ilustrado na tabela 11.

*Tabela 11: Indicação de formas de tratamento de efluente de acordo com o grau de biodegradabilidade.*

	<b>Alternativas</b>	<b>Tratamentos possíveis</b>	
<b>DQO/DBO &lt; 2</b>		Biológicos convencionais (filtros biológicos, lodos ativados, estabilização por contato, aeração prolongada, etc). DQO/DBO afluente = DQO/DBO efluente	
<b>DQO/DBO &gt; 2</b>		Recomendado tratamento biológico convencional DQO/DBO afluente < DQO/DBO efluente	
	1ª alternativa - a parte não biodegradável é importante do ponto de vista da poluição	1ª hipótese SSV/STV > 0,8	Decantação simples, flotação. Decantação com alteração de pH. Decantação com auxílio de floculantes (precipitação química), flotação, etc.)
	2ª alternativa - a parte biodegradável é também causadora de poluição	2ª hipótese SDV/STV > 0,8	Adsorção em leitos de carvão ativado. Oxidação química. Combustão, etc.

Fonte: BRAILE E CAVALCANTI, 1993.

#### 4.2.4 Avaliação da Viabilidade do Reuso do Efluente

Para a avaliação da viabilidade do reuso da água residual, além da qualidade do efluente tratado analisada, considerou-se pertinente a averiguação do consumo de água na área dos pátios. Isso foi feito no intuito de se obter o volume de água consumido no pátio, verificando se existe uma demanda na área que justifique a implantação do reuso. Tal quantificação foi feita a partir da aferição semanal do hidrômetro de circulação instalado no pátio de gusa e manganês que mede a quantidade de água destinada ao abastecimento do pátio.

Feita a caracterização e avaliação do efluente gerado, foi estudada a viabilidade técnica e ambiental de um futuro reuso das águas do sistema, bem como o levantamento de hipóteses para tentar explicar os pontos críticos e propor soluções, ambos apresentados na seção de resultados.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Problemas Referentes à Localização da ETEI e do Pátio de Manganês

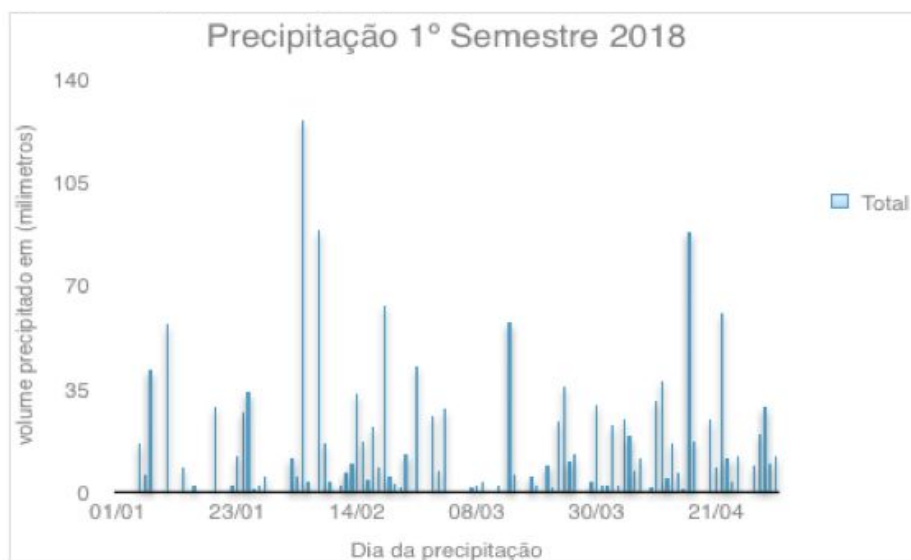
Conforme relatado, a localização da ETEI e do pátio de manganês é um fator alarmante, devido ao risco de contaminação do mar pelo despejo de efluente contaminado ou até mesmo de produto *in natura*. Ocorrências de contaminação como essa tem sido frequentes, e na maioria das vezes analisadas, estão relacionadas com períodos de chuvas mais intensas. Esses problemas foram associados a uma provável deficiência no sistema de drenagem do pátio, que deveria ser capaz de drenar esse efluente e encaminhá-lo para a estação antes que o mesmo atingisse o mar. Após análise feita pela área de engenharia da empresa quanto à estrutura do pátio, percebeu-se que as canaletas de drenagem existentes no pátio de armazenamento de gusa e manganês e a bacia de contenção da ETEI são insuficientes para amortecer todo o volume de água recebido. Dessa forma, sempre que o volume de água fosse maior que o suportado ocorreria o transbordo do efluente contaminado para além das estruturas de drenagem, podendo ou não atingir o mar.



Além disso, notifica-se que a manutenção dos sistemas é de extrema importância. Devido às particularidades do processo de movimentação desse tipo de carga, os sistemas acabam sendo comprometidos através do aporte de sedimentos para as canaletas. Sendo assim, foram propostas pela equipe de engenharia responsável diversas ações para solucionar o problema. As ações propostas são a ampliação das canaletas de drenagem, construção de contenção ao redor do pátio para impedir o assoreamento das estruturas, instalação de cobertura do pátio, aumento da bacia de contenção, segregação da drenagem para a área de contribuição dos silos, entre outras medidas de manutenção e limpeza do sistema. A ampliação da bacia de contenção já foi realizada de forma paliativa, a partir da implantação de 5 tanques de 10 mil litros cada, a fim de aumentar o volume suportado pela bacia de contenção.

No intuito de evidenciar a possível relação das ocorrências de extravasamento com o período de maiores chuvas, foram levantados os dados pluviométricos de uma estação do INMET localizada próxima ao porto. No gráfico da figura 13, referente ao volume diário precipitado no 1º semestre de 2018, é possível visualizar essa correspondência de extravasamento de efluente contaminado nos dias de pico de chuva para quase todas as situações, exceto o evento do dia 12/04. Nos dias 25/02, 14/03 e 16/04 de 2018 tivemos um volume de precipitação de 42.2 mm, 57.2 mm e 87.4 mm que apesar de não serem os maiores valores registrados estão acima da média de precipitação do período que seria de 12.04 mm.

Figura 13: Gráfico do volume precipitado diariamente no 1º semestre de 2018.



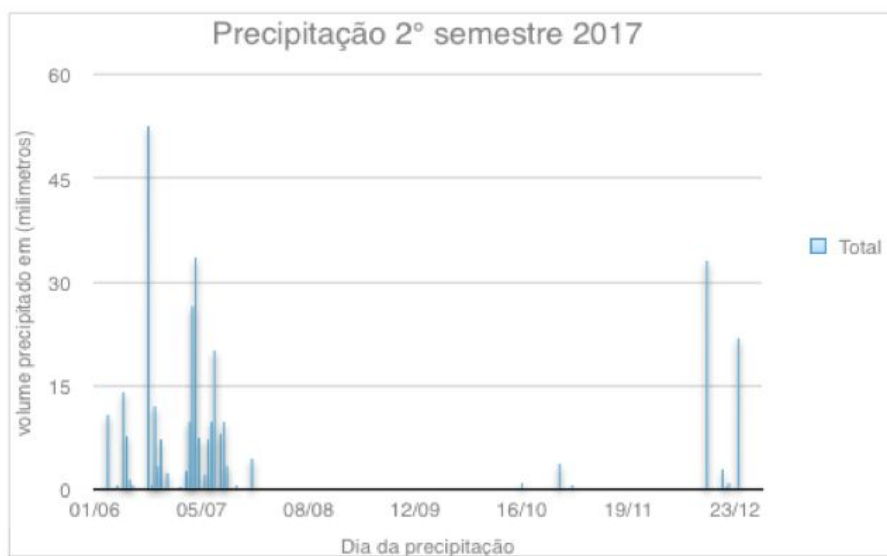
Fonte: INMET, 2018.

Ao investigar o acontecimento do dia 12/04, percebeu-se que o mesmo não ocorreu devido ao volume de chuva e sim devido a abertura acidental de uma contenção, instalada para auxiliar a retenção do efluente no pátio por mais tempo, para a passagem de máquinas, sendo solucionado logo em seguida.

Nota-se ainda, ao analisar o gráfico da figura 13, que ocorreram picos de chuva ainda maiores em dias que não foram registrados extravasamento, como por exemplo, nos dias 4, 7 e 19 de fevereiro, com volumes de chuva de 125,8 mm, 88,2 mm e 62,6 mm, respectivamente. Nesses pontos, acredita-se que também ocorreu o extravasamento, no entanto, houve uma negligência do seu registro.

Ao checar o gráfico da figura 14, referente ao volume de chuva no 2º semestre de 2017, têm-se um valor significativamente menor de chuva se comparado aos primeiros 4 meses de 2018, característico do clima da região, o que provavelmente justifica a falta de relatos desse tipo de problema no ano anterior.

Figura 14: Gráfico do volume precipitado diariamente no 2º semestre de 2017



Fonte: INMET, 2017.

Por fim, de acordo com as análises feitas, é possível estabelecer uma provável relação entre os episódios de extravasamento com os dias mais chuvosos.

Tais extravasamentos podem estar também relacionados às dimensões da bacia de contenção, que ao que tudo indica, não suporta os volumes provenientes das chuvas mais intensas. Foi identificado em consulta ao projeto da estação que a bacia de sedimentação foi a única etapa do sistema que não foi dimensionada com base na vazão de projeto, pois a mesma era uma estrutura já existente no terminal que foi reaproveitada.

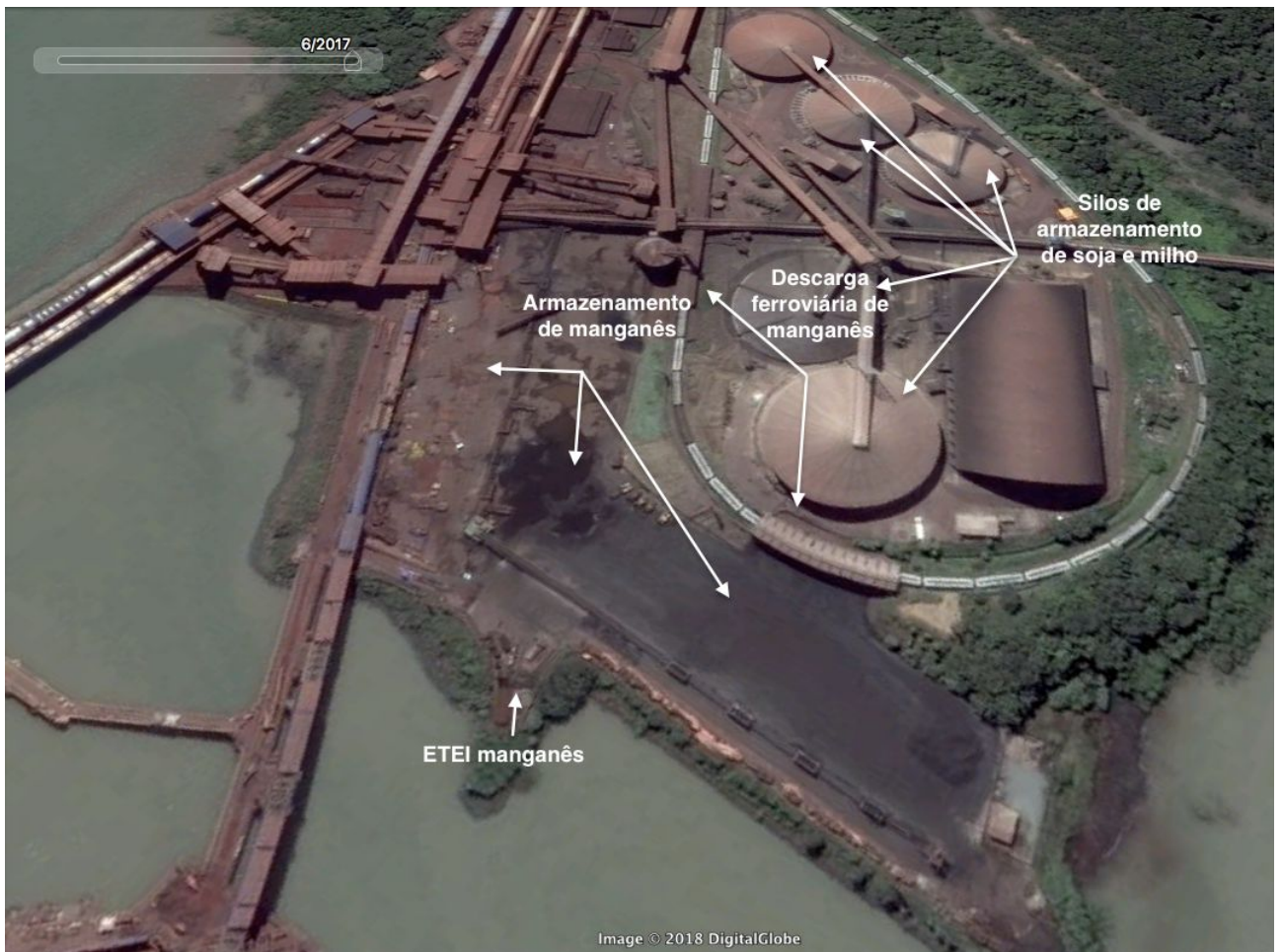
Nos próximos capítulos serão discutidos os pontos do diagnóstico voltados para a Estação de Tratamento de Efluentes Industriais, mais especificamente sobre o tipo de efluente recebido e qualidade do efluente tratado.

## **5.2 Características do Efluente e Avaliação das Análises da ETEI**

A princípio foram encontrados dois problemas administrativos em relação às análises laboratoriais. O primeiro deles foi a não inclusão do parâmetro manganês, em uma das análises realizadas no mês de junho e na análise do mês de julho, impossibilitando a avaliação do contaminante nesse período. O segundo é a suspensão da realização das análises no início de 2018 até o mês de março retomando apenas em abril. Isso aconteceu devido à finalização do contrato com a empresa que realizava as análises e a morosidade na contratação de uma nova empresa. É importante alertar que sem as análises, a empresa não tem como provar que está sendo feito o lançamento dentro dos padrões estabelecidos e, portanto, não está resguardada caso o órgão, por algum motivo, as solicite.

Em um segundo momento, após a visualização das análises do efluente bruto e do efluente tratado, constatou-se que é característico nesse efluente a presença de manganês dissolvido e de uma quantidade alta de concentração DBO quando comparados ao efluente de um empreendimento similar, que mantém seus valores de DBO em torno de 14, mostrado na Tabela 6 da página 34. No entanto, o parâmetro de DBO e DQO possuem alta variabilidade mensal. Acredita-se que os altos valores de DBO sejam provenientes do arraste de materiais residuais da área de grãos já em estado de decomposição (soja e milho), devido à falta de limpeza de alguma áreas que acabam acumulando produtos no piso. Esse efluente acaba sendo direcionado para a estação, por meio das chuvas e lavagens de vias, devido à estação está localizada na parte mais baixa do terreno, ou seja, abaixo dos silos de armazenamento de grãos, que fazem consequentemente parte da área de contribuição da ETEI, como mostrado na figura 15 e 16.

Figura 15: Estruturas da área de contribuição e pontos de geração de efluente industrial.



Fonte: Google Earth, 2018

Figura 16: Perfil de elevação da bacia de contribuição da ETEI. a) ponto mais baixo do terreno próximo a ETEI. b) elevação do ponto próximo aos silos. c) ponto mais alto, também localizado próximo aos silos.



Fonte: Google Earth, 2018.

Devido à alta variação dos parâmetros mensalmente, tentou-se, portanto, estabelecer diferentes relações que explicassem cada situação de anomalia encontrada. Essas relações serão divididas em sub capítulos para sua melhor discussão.

### 5.2.1 Análise do Potencial de Biodegradabilidade do Efluente Associado ao Processo de Tratamento Escolhido para a Estação

O primeiro ponto levantado foi a relação da biodegradabilidade do efluente associado ao processo de tratamento escolhido para a estação. Como explicado anteriormente, a relação da biodegradabilidade indica as possíveis formas de tratamento que podem ser utilizados para a remoção desses contaminantes. De acordo com o que foi analisado e apresentado na Tabela 11 da página 52, o tratamento do efluente deverá ocorrer, preferencialmente, de acordo com o grau de biodegradabilidade do mesmo. Para a relação  $DQO/DBO < 2$ , são recomendados tratamentos biológicos convencionais, visto que o efluente apresenta uma alta fração biodegradável (Cavalcanti, 2012; Sperling, 2014). Sendo assim, a partir do resultado da relação de biodegradabilidade, apresentado na tabela 12, o tratamento da ETEI do pátio de manganês deveria compreender também uma etapa biológica, visto que o valor médio para a relação  $DQO/DBO$  foi de 1,4 (com exceção do mês de abril) apresentando então alta fração biodegradável.

*Tabela 12: Relação de biodegradabilidade do efluente na entrada da ETEI para o 2º semestre de 2017 e abril de 2018*

	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Abr</b>
<b>Relação de Biodegradabilidade DQO/DBO</b>	1,02	1,72	1,15	1,58	1,26	1,50	1,58	71,95

Fonte: Limnos, 2017.

De acordo com a tabela 12, para valores menores que 2 são recomendados tratamentos biológicos convencionais. No entanto, a ETEI em questão possui apenas um tratamento físico-químico visto que não era esperada a contribuição do efluente da área de grãos

contendo carga orgânica. Já para o mês de abril tem-se uma exceção, com a relação de biodegradabilidade muito maior que 2, indicando que o tratamento ideal realmente é físico-químico.

A relação de biodegradabilidade indicando a necessidade de um tratamento biológico tenta explicar a baixa eficiência de remoção de DBO e DQO na maior parte dos meses, tendo em vista que a estação não foi projetada para receber e tratar esse tipo de contaminante. Porém, não se pode afirmar que esse é o real motivo da dificuldade de remoção, pois nos meses subsequentes como outubro, novembro e dezembro, foram obtidas porcentagens de remoção de 67%, 96% e 80% respectivamente, acima da exigida na resolução CONAMA 430/11 para o lançamento de efluentes em corpos hídricos utilizando-se do mesmo tipo de tratamento. As análises foram realizadas pelo laboratório Limnos e os seus resultados foram fornecidos pela empresa VLI e estão representadas nas tabelas 13 e 14, que apresentam a eficiência de remoção de DBO, DQO, manganês e sólidos sedimentáveis de acordo com os padrões de lançamento de efluentes recomendados pela Resolução CONAMA 430/11 (BRASIL, 2011).

Na Tabela 13 são apresentados os resultados das análises do efluente industrial com relação aos parâmetros DBO, DQO e sólidos sedimentáveis e a eficiência de remoção desses parâmetros, exigidos pela Resolução CONAMA 430/11 para lançamento em corpos hídricos nos meses de junho e julho de 2017. De acordo com a Tabela 13, observa-se que o parâmetro de DBO não alcançou a remoção de 60% recomendada pela resolução para o lançamento em curso hídrico nos meses de junho e julho de 2017. Os valores de DBO se apresentam acima do esperado se comparados com as características de efluentes do mesmo ramo de atividade mostrada na Tabela 6. Nos meses de junho e julho, não houve a análise do parâmetro de manganês por falha de solicitação da inclusão do mesmo ao laboratório que realiza a análise. No entanto, tem-se a extrapolação do limite de lançamento estabelecido para sólidos sedimentáveis na Resolução CONAMA 430/11 para o mês de junho de 2017.

Tabela 13: Análises apresentando a eficiência de remoção de DBO e DQO para os meses de Junho e Julho de 2017.

Parâmetros Analisados			Jun-17 (ensaio 4)		Jul-17	
Análise	Unid.	CONAMA 430/11	Entrada	Saída	Entrada	Saída
DBO	mg/L	<b>redução 60%</b>	1371.5	877.5	351	243.8
% Remoção DBO	%		<b>36</b>		<b>31</b>	
DQO	mg/L	-	1395	1184	602.8	448
Manganês dissolvido	mg/L	<b>1,0 mg/L</b>	0	0	0	0
Sólidos Sedimentáveis	mL/L	<b>até 1 mL/L</b>	1.5	<b>1.1</b>	< 1,0	< 1,0

Fonte: Limnos, 2017.

Na Tabela 14 são apresentados os resultados das análises dos efluentes industriais com relação aos parâmetros DBO, DQO, manganês e sólidos sedimentáveis e a eficiência de remoção desses parâmetros, exigidos pela Resolução CONAMA 430/2017 para lançamento em corpos hídricos para os meses de agosto e setembro de 2017. De acordo com a Tabela 14, observa-se que para os meses de agosto e setembro foi incluído a análise do parâmetro manganês. A remoção de DBO e DQO para o mês de agosto apresentou melhora comparada aos meses anteriores, mas continuou abaixo da remoção desejada pela resolução no caso da DBO. Para o mês de setembro, no entanto, houve um aumento da concentração de DBO e DQO na saída da estação. Os sólidos sedimentáveis se apresentaram dentro dos padrões de lançamentos recomendados pela legislação nos meses de agosto e setembro de 2017.



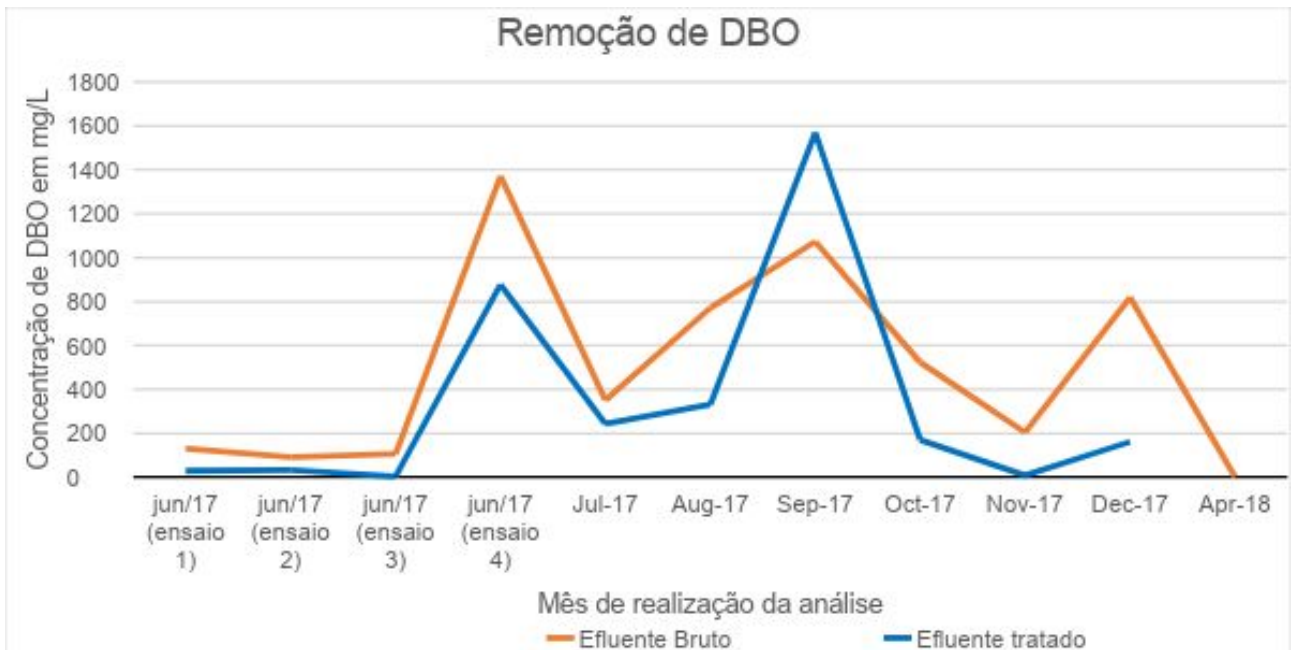
Tabela 14: Análises apresentando a eficiência de remoção de DBO e DQO para os meses de Agosto e Setembro de 2017

Parâmetros Analisados			Ago-17		Set-17	
Análise	Unid.	CONAMA 430/11	Entrada	Saída	Entrada	Saída
DBO	mg/L	<b>redução 60%</b>	770.3	330.9	1072.5	1569.8
% Remoção DBO	%		<b>57</b>		<b>-46</b>	
DQO	mg/L	-	884.8	426	1697.1	1897.1
Manganês dissolvido	mg/L	<b>1,0 mg/L</b>	0	0.15	28.6	0.08
Sólidos Sedimentáveis	mL/L	<b>até 1 mL/L</b>	< 1,0	< 1,0	1	< 1,0

Fonte: Limnos, 2017.

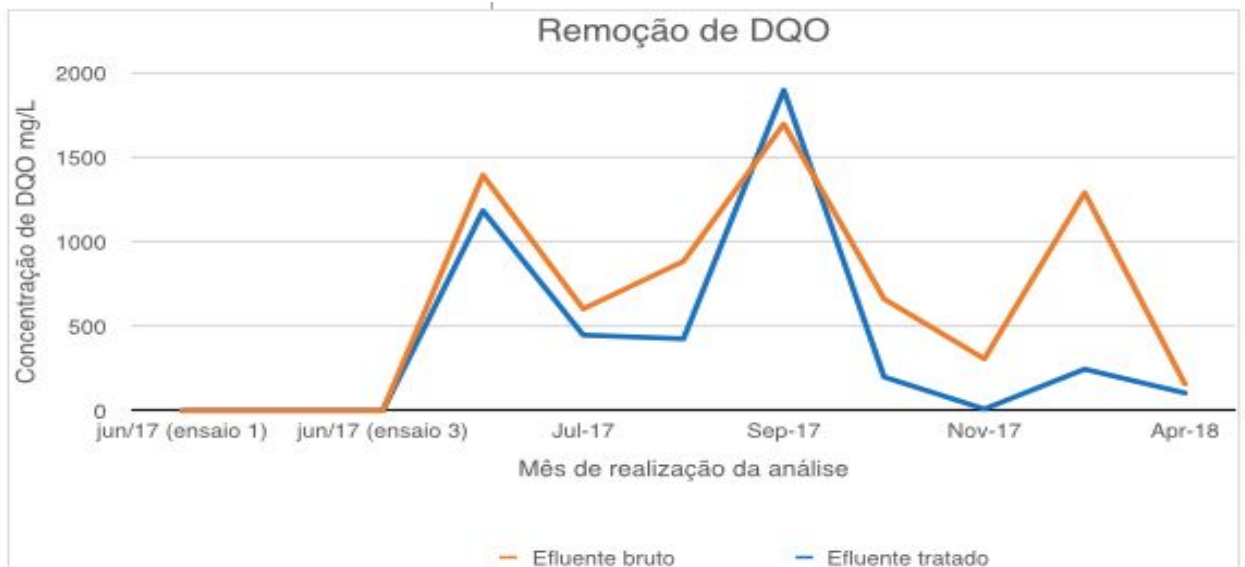
Como pode ser visto no resultado da análise do período de monitoramento de seis meses (ANEXO II), os valores de concentração, principalmente de DBO e DQO, variam bastante de um mês para o outro, oscilando entre valores mais baixos e valores mais elevados. Essa situação pode ser melhor percebida quando organizada na forma de gráfico, conforme ilustrado nas figuras 17 e 18. Nos gráficos estão representadas a concentração de DBO e DQO, antes e depois do tratamento, permitindo visualizar ainda a quantidade de contaminante removida.

Figura 17: Gráfico de comparação de remoção de DBO mensalmente



Fonte: Elaboração própria, 2018.

Figura 18: Gráfico de comparação de remoção de DQO mensalmente



Fonte: Elaboração própria, 2018.

Para tentar explicar as concentrações mais altas de DBO e DQO e as variações mensais do comportamento do efluente foram construídas outras relações com fatores externos que possam estar influenciando nas características do efluente gerado. As relações serão explicadas no decorrer deste texto.

## 5.2.2 Influência dos Episódios de Alto Volume de Chuva com a Variação da Concentração de DBO e DQO no Efluente

Segundo os resultados obtidos na análise do efluente, os meses de junho e setembro de 2017 tiveram as maiores concentrações de DBO e DQO e as piores taxas de remoção do contaminante, apresentando picos de concentração do contaminante, conforme organizado na tabela 15, e ilustrado na figura 19. O mês de junho representa também os maiores índices de precipitação do semestre, podendo então inferir que existe uma relação indicando um aumento da DBO quando se tem um arraste dessa matéria orgânica proveniente da área de armazenamento de grãos no período chuvoso. Durante o carregamento é comum que parte do produto movimentado caia no piso, e esse nem sempre é retirado imediatamente, sendo carregado para os sistemas de drenagem e, conseqüentemente, para a estação, em caso de chuvas ou lavagem do piso.

*Tabela 15: Análise apresentando DBO e sólidos sedimentáveis fora do padrão CONAMA 430/11 para os meses de Junho e Setembro de 2017.*

Parâmetros Avaliados			Jun/17 (ensaio 4)		Set/17	
Análise	Unid.	CONAMA 430/11	Entrada	Saída	Entrada	Saída
DBO	mg/L	<b>redução 60%</b>	1371,5	877,5	1072,5	1569,8
% Remoção DBO	%		<b>36</b>		<b>-46</b>	
DQO	mg/L	-	1395	1184	1697,1	1897,1
Manganês dissolvido	mg/L	<b>1,0 mg/L</b>	-	-	28,6	0,08
Sólidos sedimentáveis	mL/L	<b>até 1 mL/L</b>	1,5	<b>1,1</b>	1	< 1,0

Fonte: Limnos Laboratório de Ensaio, 2017.

Outro indício dessa relação pode ser visto ao analisar o gráfico da figura 19, que compara o acumulado de chuva mensal com as concentrações de DBO e DQO no mês. É

possível visualizar que os maiores valores de concentração de DBO e DQO na entrada da estação, em sua maioria coincidem com períodos mais chuvosos de 2017, com a exceção do mês de setembro do mesmo ano.

Figura 19: Gráfico da relação entre incidência de chuva e alta concentração de DBO e DQO



Fonte: Elaboração própria, 2018.

No mês de junho, ocorreu ainda uma extrapolação do limite de lançamento para sólidos sedimentáveis. No entanto, não se estabeleceu nenhuma relação para esse parâmetro, devido ao aumento ter sido considerado insignificante se comparado com os dados dos outros meses. Acredita-se ainda que ele pode estar relacionado com questões de precisão laboratorial que serão discutidos mais adiante.

No mês de setembro como um todo, não houve registro de precipitação. No entanto, o resultado da análise apresenta uma concentração de DBO maior no efluente tratado do que no efluente bruto. Dessa forma, a hipótese apresentada não justifica a alta concentração de DBO para esse mês e serão avaliadas outras relações mais adiante para tentar elucidar o fato.

### 5.2.3 Influência dos Processos de Movimentação de Produtos (soja, milho e manganês) com a Variação nos Parâmetros de DBO, DQO e Manganês

A atividade de carregamento e descarregamento dos navios que atracam no porto, sem dúvida, influenciam na qualidade do efluente gerado. Pensando assim, foi investigado o volume de movimentação de grãos e de manganês para tentar avaliar se a quantidade de carga movimentada é um aspecto positivo para o aumento das concentrações dos contaminantes e, até mesmo, tentar explicar a variabilidade das amostras coletadas a cada mês.

Primeiramente, foi avaliado a movimentação de grãos. Ao levantar os dados da entrada de soja e milho percebeu-se que os meses que apresentam maior volume são os que antecedem os meses de maior concentração de DBO e DQO. A relação desses fatores é possível de ser feita devido à existência de um mecanismo de controle chamado FIFO (*First in first out*), que como o nome já diz, significa que o primeiro produto a entrar deve ser o primeiro a sair do armazém ou do silo. Esse mecanismo na empresa diz que o produto que entra na unidade (silo ou armazém) deve ser movimentado com um número específico de dias para cada tipo de armazenamento. Esse período em média é de 45 dias, podendo variar para mais ou para menos. Apesar de não ser um dado extremamente preciso, é suficiente para levantar a hipótese de que em meses subsequentes à uma grande entrada de produtos, ocorrerá uma grande movimentação dos mesmos devido ao tempo de FIFO.

Ocorrendo uma grande movimentação de milho e soja, torna-se mais propenso a geração de resíduos na área de influência. Esses resíduos poderão ser arrastados até o sistemas de drenagem através da limpeza de pisos e água de chuva, gerando um efluente com alto teor de matéria orgânica. Com isso, ao avaliar essa hipótese, surgiram indicativos de uma correlação entre os fatores.

O mês de maio, como mostrado na tabela 16, teve a maior entrada de volume e antecede o mês de junho, que apresentou a maior concentração de DBO e a segunda maior concentração de DQO. O mesmo acontece para o mês de agosto, segundo maior volume do semestre, antecedendo o mês de setembro, também segunda maior concentração de DBO e maior concentração de DQO. No entanto, os problemas relacionados ao mês de setembro dizem respeito a um conjunto de fatores que estão sendo construídos e apresentados no decorrer desta seção. A relação inversa também pode ser observada, a partir de setembro houve uma diminuição da entrada de produto com uma consequente diminuição na concentração de DBO e DQO a partir do mês de outubro em diante, que pode ser visto na tabela do Anexo II. Essa última observação ajuda a reafirmar a suposição levantada.

*Tabela 16: Volume de grãos (soja e milho) recebido no porto no 2º semestre de 2017*

	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>
<b>Entrada de grãos (t)</b>	558.994,8	408.043,6	400.340,2	449.385,2	260.112,1	395.956,4	197.524,7	30.059,5

Fonte: Elaboração própria, 2018.

Um outro ponto a ser relatado é a movimentação conjunta de dois produtos, soja e milho, durante o segundo semestre de 2017. Essa prática não é comum, o procedimento padrão geralmente é finalizar o carregamento da safra de soja, para posteriormente iniciar o recebimento e carregamento da safra de milho. No entanto, por problemas logísticos, a safra de soja se prolongou até o final do ano, obrigando a empresa a trabalhar com os dois produtos ao mesmo tempo. Essa operação apesar de possível, aumenta os cuidados necessários para evitar a contaminação de um produto com o outro. Um dos cuidados é a constante limpeza de vagões, armazéns, silos e demais estruturas envolvidas no processo. Isso aumenta tanto a geração de resíduos sólidos quanto a geração de efluentes, que devido à bacia de contribuição, estão sendo encaminhados para a estação. Sendo esse mais um sinal para justificar o aumento das concentrações de DQO e DQO, através do aporte de um efluente com alto teor de matéria orgânica.

Avaliando a hipótese para o parâmetro de manganês, foi identificada a extrapolação do limite de manganês no mês de novembro e dezembro, (Tabela 18). Levantando a base de dados referente à descarga de manganês no terminal, verificou que houve o recebimento de produto nos meses de setembro e outubro, como mostrados na Tabela 17. A hipótese criada com a análise dos dados seria de que o aumento na concentração de manganês no efluente, mostrado na Tabela 18, ocorreu devido à essa movimentação do produto nos meses de setembro e outubro.

Tabela 17: Movimentação de manganês no porto no 2º semestre de 2017

	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Entrada de manganês (t)</b>	0	0	0	0	2.080,06	6.122,00	0	0

Fonte: VLI, 2017.

Tabela 18: Análise apresentando manganês fora do padrão CONAMA 430/11 para os meses de novembro e dezembro de 2017.

Parâmetros Analisados			Nov-17		Dec-17	
Análise	Unid.	CONAMA 430/11	Entrada	Saída	Entrada	Saída
DBO	mg/L	<b>redução 60%</b>	204.8	7.9	819	161.2
% Remoção DBO	%		<b>96</b>		<b>80</b>	
DQO	mg/L	-	306.9	10.2	1290.4	246.1
Manganês dissolvido	mg/L	<b>1,0 mg/L</b>	<b>5.2</b>	<b>3.99</b>	68.33	<b>30.27</b>
Sólidos Sedimentáveis	mL/L	<b>até 1 mL/L</b>	< 1,0	< 1,0	<0,1	0.2

Fonte: Limnos, 2017.

Ao conhecer as datas de entrada desse produto no porto, seria razoável pensar que a concentração do contaminante no efluente apresentou aumento nos meses de novembro e dezembro devido à movimentação do manganês nos meses de setembro e outubro, que provavelmente se estenderam até os meses subsequentes. Entretanto, se assumido isso como verdade, seria preciso agora justificar também as concentrações de manganês dos meses anteriores. As concentrações apresentadas nos meses anteriores a setembro só poderiam ser explicadas devido à alguma descarga de manganês remanescente, que possa ter permanecido no pátio de armazenamento, ou ainda de alguma outra fonte secundária que não foi estudada neste trabalho. O problema encontrado foi que na base de dados utilizada pelo porto, não existe uma quantificação da movimentação desse produto durante os outros meses do ano

e, ainda, não se sabe dizer qual a rotatividade desse material no pátio de armazenamento. No entanto, há registros em atas de reuniões da movimentação de manganês nos mês de fevereiro, o que poderia explicar as concentrações do produto no efluente mesmo nos meses que não tiveram movimentação, entre março e agosto.

A relação que se tentou estabelecer é uma hipótese, no entanto, um pouco mais frágil que as demais estabelecidas até agora, pois não foram encontradas informações suficientes que a apoiasse e permitisse afirmar que o aumento das concentrações de manganês no efluente aconteceu devido às operações com o composto em setembro e, principalmente, em outubro quando houve o maior volume transportado. Apesar disso, acredita-se que a investigação é a parte mais importante desse trabalho. Nem sempre é possível responder e entender o porquê da ocorrência de determinadas concentrações anômalas. Os sistemas de tratamento de efluentes industriais são extremamente dinâmicos e muitas vezes faltam dados, ou até mesmo, uma interpretação satisfatória dos dados já conhecidos para lidar com essas estruturas da forma que elas requerem. A relação discutida nesta seção serve como um indicador de atenção, que visa alertar sobre potenciais efeitos que a sazonalidade da operação portuária possa causar na estação. As discussões aqui apresentadas não possuem valor de verdade e nem a pretensão de afirmar relações por meio de uma conclusão consumada dos acontecimentos.

#### 5.2.4 Impacto de uma Ocorrência de Perda de Soja com o Pico de Concentração de DBO e DQO no Mês de Setembro

Para entender a alta concentração de DBO e DQO no mês de Setembro, somado às demais hipóteses levantadas anteriormente, foi necessário buscar em um histórico de acontecimentos que justificasse o resultado apresentado. Dentre os fatores externos levantados, houve uma ocorrência de perda de grande volume de soja no silo 4 no mês de setembro. Cerca de 12 mil toneladas perderam a qualidade durante o processo de armazenamento, devido ao desrespeito do tempo de FIFO exigido. Quando o material foi encontrado em uma qualidade muito inferior à exigida para embarque no navio, foi necessário fazer a limpeza do silo.

Durante o processo de limpeza, muito desse material, já em estado de decomposição, derramou no piso nas redondezas do silo. Como se tratavam de muitas toneladas, acredita-se



que esse resíduo gerado, acidentalmente depositado nas vias devido à ação das pás carregadeiras para retirá-lo do silo, gerou um efluente de alta carga orgânica. Esse efluente pode ter contribuído fortemente para o aumento da concentração de DBO e DQO, mesmo em um período seco, sem incidência de chuvas, devido a todas as limpezas realizadas na área. A figura 20 mostra a localização do silo 4 em relação aos demais. Apesar do próprio silo não estar dentro da bacia de contribuição, o mesmo se localiza bem próximo. Além disso, as atividades das máquinas para a realização da limpeza, permitem o transporte desse produto/contaminante para locais dentro da área de contribuição da estação.

*Figura 20: Localização e organização das estruturas de armazenamento de grãos*



Fonte: VLI, 2018.

No entanto, vale ressaltar que essa relação apesar de tentar explicar o aumento na concentração de DBO e DQO, ainda não consegue explicar o fato da concentração de DBO e DQO do efluente tratado ter apresentado valores maiores que o efluente bruto para o mês. Sendo assim, acredita-se que isso pode ter ocorrido devido à falta de manutenção e limpeza adequada do sistema de tratamento, ou ainda a escolha inadequada do tipo de tratamento utilizado. Porém, não foi possível levantar dados que evidenciam problemas na limpeza e/ou manutenção da estação. Também não foi reportado nenhum problema técnico na estação

durante esse mês que justificasse essa remoção negativa de DBO e DQO, conforme mostrado anteriormente na tabela 15.

#### 5.2.5 Influência dos Problemas de Drenagem Apontados na Operação da Estação

A equipe de engenharia da empresa, devido às ocorrências que aconteceram no primeiros meses do ano de 2018, realizou algumas intervenções, já mencionadas anteriormente, na drenagem do pátio de armazenamento de manganês. Essas intervenções aparentemente influenciaram na qualidade do efluente recebido pela estação. As ações que acreditam ter causado o maior impacto foram a instalação de barreiras de contenção do minério de manganês e o aumento da bacia de contenção por meio da implantação de 05 novos reservatórios provisórios. As duas intervenções auxiliam na melhora da qualidade do efluente, reduzindo o aporte de sedimentos e controlando melhor o volume de efluente que chega na estação. Além disso, foi feito o tamponamento das caixas de passagem que conectam a área de drenagem dos silos ao pátio de armazenamento de manganês e, conseqüentemente, à estação. Essa ação tem potencial de reduzir significativamente a carga orgânica carregada para a ETEI. Essas intervenções foram feitas no mês de abril e, logo após, foram retomadas a realização das análises do efluente.

Após avaliar a análise efetuada em abril, considerou-se importante contrastá-la com os resultados do 2º semestre de 2017. O resultado mostrado na tabela 19, instiga duas hipóteses distintas. A primeira hipótese diria que esse resultado traz evidências de que as intervenções realizadas de fato reduziram a influência da área de contribuição da ETEI, proporcionando um efluente de maior qualidade, com menor carga orgânica e, conseqüentemente, com características mais próximas daquilo que a estação foi projetada para tratar, segundo a descrição feita no referencial teórico. A segunda tende para a confiabilidade dessa análise e da falta de análises do 1º trimestre de 2018 que poderia proporcionar uma comparação com um cenário anterior próximo. Tal comparação seria importante quando considerado o dinamismo da atividade exercida no porto e do tratamento de efluentes industriais em si. Os efluentes industriais possuem um comportamento muito específico para cada condição a que ele é submetido (TELLES e COSTA, 2010; NUNES, 2004) . Sendo assim, variações no meio que circunda a estação influenciam diretamente no sistema de tratamento e nos seus resultados.

Tabela 19: Resultado da análise laboratorial realizada em abril de 2018

Parâmetros Analisados			abr/2018	
Análise	Unid.	CONAMA 430/11	Entrada	Saída
DBO	mg/L	<b>redução 60%</b>	2,2	2,0
% Remoção DBO	%		9%	
DQO	mg/L	-	158.3	105
Manganês dissolvido	mg/L	<b>1,0 mg/L</b>	0.77	0.85
Sólidos Sedimentáveis	mL/L	<b>até 1 mL/L</b>	0.7	0.1

Fonte: Limnos, 2017.

Os resultados da análise do mês de abril pós intervenções, comparados com as relações estabelecidas anteriormente, reafirmam de alguma forma as hipóteses propostas. É razoável relacionar que a alta carga de matéria orgânica, por exemplo, é proveniente da área do silo, pois quando essa contribuição foi interrompida houve a redução drástica da concentração de DBO e DQO no efluente. Também é coerente dizer que a chuva contribui para o arraste dos materiais sólidos para a área da estação e, conseqüentemente, aumenta a concentração de DBO, DQO e manganês no efluente, visto que todos esses parâmetros tiveram sua concentração reduzida após a instalação das contenções. No entanto, a análise de um único mês não garante um comportamento regular dessa estação para o próximos meses e, por isso, trabalhou-se apenas com suposições a fim de orientar um caminho para encontrar a verdadeira solução para esse problema. É preciso acompanhar as próximas análises continuamente para tentar entender melhor o comportamento desse efluente.

#### 5.2.6 Confiabilidade e Precisão do Laboratório de Análise

A última hipótese levantada para tentar justificar a variabilidade das análises é a confiabilidade e a precisão do laboratório responsável por realizá-las. Esse ponto foi levantado devido à comparação com as análises realizadas pela empresa Tecma Engenharia, responsável pela construção da ETEI, e das análises realizadas pela empresa Limnos

Laboratório de Ensaio. A comparação entre as análises despertou a atenção para o fato de que os laboratórios possuem uma margem de erro e, nem sempre, um resultado apresentado traduz com perfeição a realidade.

Na entrega da obra, a empresa Tecma realizou uma sequência de três análises no intuito de comprovar o bom funcionamento da estação. Posteriormente, foi dada continuidade na realização das análises para acompanhar a eficácia de tratamento da ETEI mensalmente, desta vez realizado pela empresa Limnos. Ao contrapor as análises, verificou-se diferenças que vão da precisão dos resultados até a escolha dos parâmetros a serem analisados, mostrados na tabela 20.

Muitas dessas diferenças são sutis e algumas outras mais significativas. No entanto, é difícil dizer ou mensurar o impacto dessas divergências e esse não é o objetivo deste capítulo. O objetivo dessa comparação é alertar para o fato de que neste trabalho foram utilizados como base do estudo os resultados apresentados mensalmente pela Limnos. Porém, é conveniente ser cauteloso nas afirmações aqui feitas. Em caso de resultados muito divergentes de um padrão ou de dúvidas sobre um resultado, a melhor medida é solicitar uma nova análise para se obter uma confirmação. No entanto, como essa alternativa não é disponível, utilizou-se para a avaliação da estação os resultados apresentado pelo laboratório. A adição dessa ressalva foi feita para mostrar que se tem ciência da possibilidade de erro da parte dos laboratórios que realizam a coleta e análise desses efluentes.

Tabela 20: Análises realizadas pelas empresas Tecma (ensaio 1,2 e 3) e pela empresa Limnos (ensaio 4) em junho de 2017

Parâmetros Analisados			jun/17 (ensaio 1)		jun/17 (ensaio 2)		jun/17 (ensaio 3)		jun/17 (ensaio 4)	
Análise	Unid.	CONAMA 430/11	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
DBO	mg/L	<b>redução 60%</b>	130	29	92	32	106	3	1371.5	877.5
% Remoção DBO	%		78		65		97		<b>36</b>	
DQO	mg/L	-	0	0	0	0	0	0	1395	1184
Manganês dissolvido	mg/L	<b>1,0 mg/L</b>	3.65	< 0,06	4.5	0.83	4.2	0.47	0	0
Ferro Solúvel	mg/L	<b>15,0 mg/L</b>	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	-	-
Óleos minerais (hidrocarbonetos)	mg/L	<b>20 mg/L</b>	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 1,0	1.2
Óleos vegetais e Gorduras Animais	mg/L	<b>50 mg/L</b>	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 1,0	< 1,0
pH (campo)	-	<b>5 - 9</b>	7	8.3	8.9	8.3	7	8.3	7.2	7.5
Sólidos Sedimentáveis	mL/L	<b>1 mL/L</b>	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1.5	<b>1.1</b>
Temperatura	°C	<b>&lt; 40</b>	25	26.2	25	26	26	28	30	27

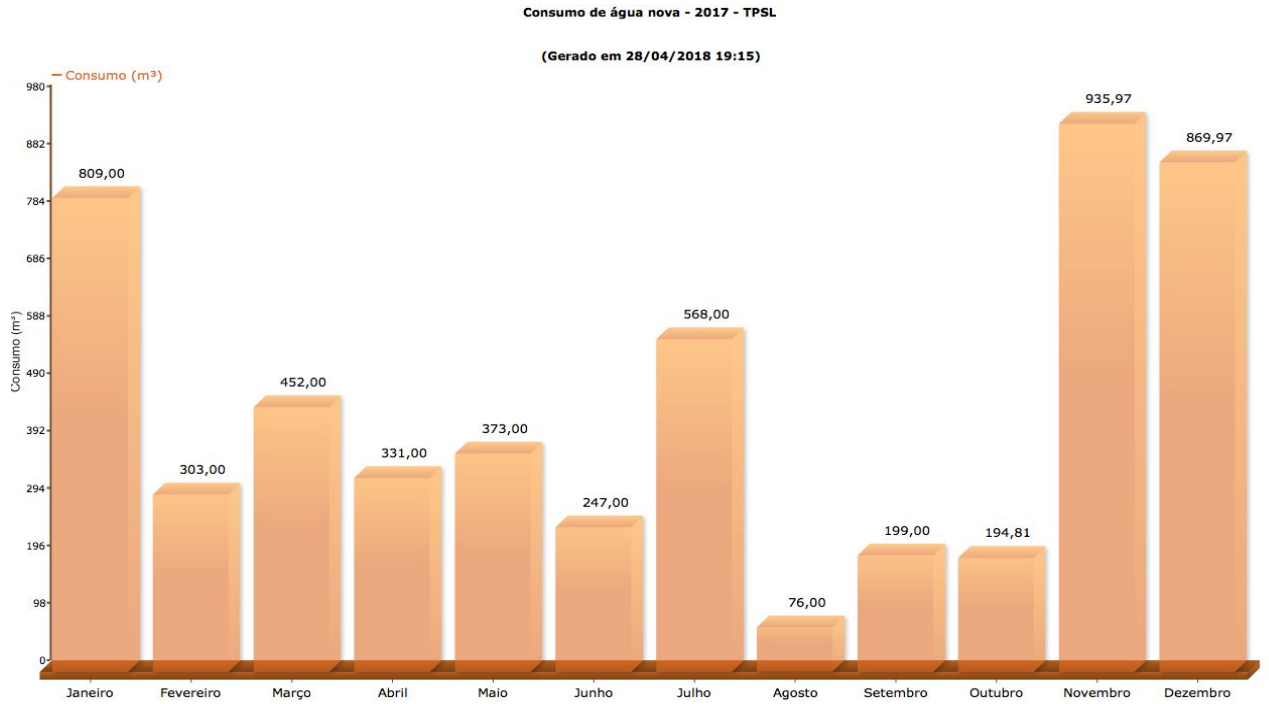
Fonte: Tecma; Limnos, 2017.

#### 5.4 Viabilidade de Reuso do Efluente

Para a avaliação da viabilidade do reuso da água residual, foi feito o levantamento do consumo de água utilizada na área dos pátios, com o intuito de obter o volume de água demandado no local e analisar se seria proveitoso investir no reuso. Esse quantitativo pode ser

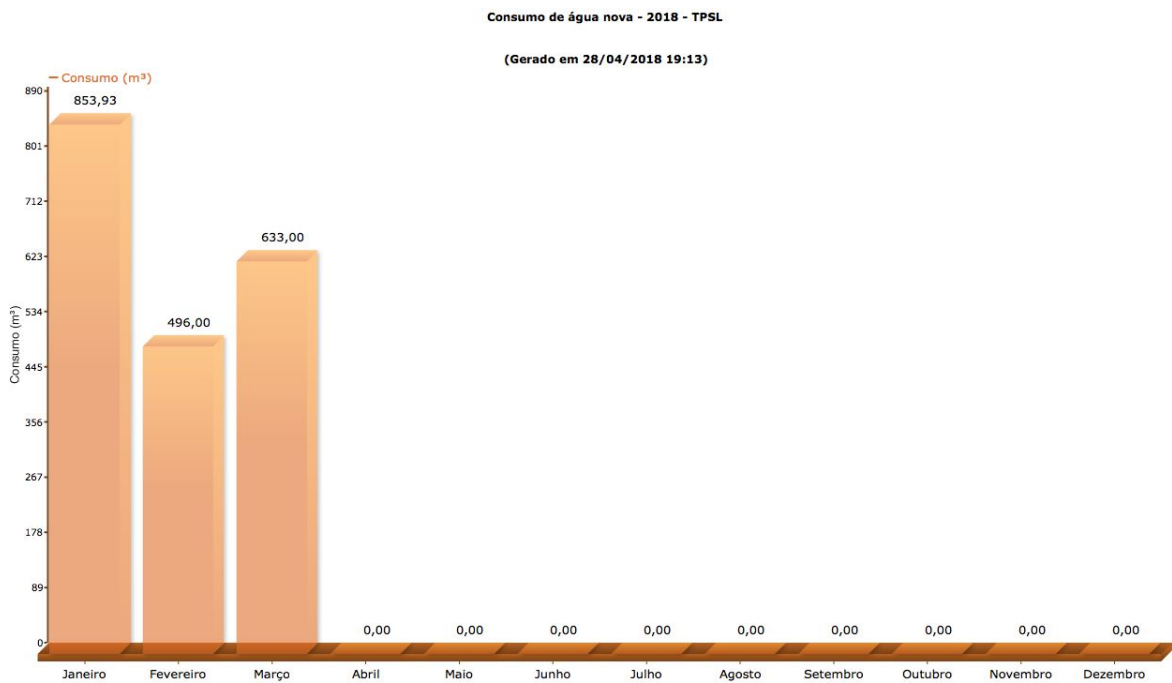
visto nas figuras 21 e 22.

Figura 21: Volume mensal de água consumida no pátio de manganês no ano de 2017



Fonte: Sistema Integrado VLI (SIV), 2018.

Figura 22: Volume mensal de água consumida no pátio de manganês no ano de 2018



Fonte: Sistema Integrado VLI (SIV), 2018.

O consumo no pátio de gusa e manganês representa 31% da demanda de água anual da unidade, representando um volume de 6914 m<sup>3</sup> nos anos de 2017 e 2018, de um volume total demandado pela unidade de 21.975 m<sup>3</sup> no mesmo período. Na tabela 21 podemos ver os dados de consumo da unidade em 2017 e 2018. A demanda de água apresentada mostra que o reúso do efluente nessa área pode ser positivo, em termos quantitativos, do ponto de vista econômico e ambiental, visto que representa uma parte significativa da água utilizada em todo o terminal.

*Tabela 21: Consumo de água separado por hidrômetro nos anos 2017 e 2018*

	Consumo 2017 (m <sup>3</sup> )	Consumo 2018 (m <sup>3</sup> )	Total
Hidrômetro de Entrada	17.136,43	4.838,6	21.975,03
Hidrômetro de Circulação (Pátio de Gusa e Manganês)	5.282,81	1.630,93	6.913,74
% consumo do pátio	30%	33%	31%

Fonte: Elaboração própria, 2018.

No entanto, de acordo com os padrões citados nas tabelas 8 e 9 do referencial teórico, para que fosse possível a aplicação do reúso macro interno do efluente tratado, seria necessário a implantação de etapas adicionais ao tratamento atual. O reúso macro interno é o reúso do efluente no mesmo local em que ele foi gerado após submissão a tratamento (HESPANHOL et al., 2007). Além disso, seria necessário também a adição de outros parâmetros nas análises realizadas atualmente, pois elas não contemplam a investigação de todos os parâmetros exigidos.

Apesar da inclusão de parâmetros nas análises ser de fácil resolução, o efluente obtido no final do processo hoje, tem apresentado oscilações no tratamento, e ainda não se enquadra nos padrões estabelecidos pelas normas empregadas para reúso, como a norma ABNT NBR 13969/97 e os Critérios de Qualidade para Reuso da Água fornecidos pela USEPA. Sendo assim, seria necessário um estudo mais detalhado das necessidades de ajustes para o funcionamento pleno de uma estação que visa o reúso.

Ainda assim, acredita-se que, pelo potencial de redução de demanda de água do terminal em torno de 30%, e pela situação de dependência da unidade de fornecimento de água por uma empresa externa, a alternativa continua sendo um caso a ser considerado. Uma vez que, existindo a possibilidade da empresa que fornece o abastecimento hoje o interromper, o terminal precisa estar preparado e disposto a buscar fontes alternativas do recurso a fim de suprir a sua demanda.



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho foi baseado na construção de hipóteses que tentassem justificar o porquê de cada problema encontrado na estação ou em alguma situação que a envolvesse. As hipóteses criadas nem sempre foram conclusivas, no entanto, não deixaram de cumprir com seu papel investigativo.

Em primeiro lugar, entende-se que efluentes industriais são extremamente específicos, dotados de particularidades que poderão variar de acordo com mudanças realizadas na atividade. Em segundo lugar, conclui-se que apesar da maior parte dos parâmetros analisados estarem dentro dos padrões exigidos por lei, os parâmetros de DBO, DQO e manganês não têm apresentado valores satisfatórios. Além disso, existe ainda uma certa divergência no padrão de comportamento da estação que procurou ser explicado pela construção de seis relações do problema encontrado com fatores externos, que poderiam impactar na estação. As relações feitas mostraram que, para a remoção de DBO e DQO, o tratamento utilizado atualmente pode não ser o mais indicado, por não possuir uma etapa de tratamento biológico. Averiguou-se também que os níveis de precipitação são capazes de causar perturbações para a rotina de tratamento da estação, aportando alta carga de matéria orgânica para a mesma. Foi notado ainda que os processos de movimentação dos produtos da empresa (manganês, soja e milho), como já se esperava, apresentam potencial de interferência na qualidade do efluente em questão; alterações sofridas no processo afetam automaticamente a dinâmica da estação.

Aprendeu-se que o funcionamento das estruturas de drenagem e tratamento de efluentes são muito mais interativos e quase sempre diferentes daqueles estudado na teoria. Na prática, irão surgir problemas que nem sempre apresentarão uma resposta simples e fácil de encontrar. Entende-se ainda que, devido às operações inerentes de uma atividade portuária, as ocorrências ambientais estão susceptíveis a acontecer, mas que existem mecanismos de controle que podem diminuir a chance de danos ao ambiente.

Com isso, conclui-se que muitas vezes, para encontrar a solução adequada ou simplesmente saber onde está o problema é preciso pensar de maneira sistêmica, considerando todos os fatores que poderiam estar impactando a estação. Com base nas incertezas apresentadas, é preciso dar um passo atrás para tentar trazer as respostas. Por mais que algumas relações possam parecer pouco embasadas, elas ainda assim constituem uma forma

investigativa dos fatos e servem de ponto de partida para um estudo mais apurado das causas que levam a estação a ter sua performance comprometida.

Diante da estação diagnosticada, ressalta-se que é preciso considerar que mesmo que se siga os padrões de lançamento do efluente para o parâmetro de manganês, o estuário recebe contribuição de diversas outras empresas também autorizadas a lançar seus efluentes e do rio que nele deságua trazendo uma carga de efluente sanitário desconhecida. Com isso, sugere-se um estudo mais aprofundado da qualidade da água do estuário, à fim de resguardar um maior conhecimento das características da região em que se está atuando. Essas informações podem ser benéficas em caso de suspeita de contaminação do estuário, pois existiria um histórico anterior da qualidade ambiental do local que permitiria averiguar se ocorreu mesmo a contaminação ou se trata de características da região.

Por fim, diante dos problemas apresentados acima, acredita-se que a implantação do reuso desse efluente tratado ainda pode ser viável, porém, primeiramente, será necessário realizar ajustes no sistema, para que tal fonte alternativa seja vantajosa e não problemática.

Sugere-se que sejam estudadas e aplicadas no local as adequações necessárias para que a estação tenha um efluente tratado capaz de ser reaproveitado. Indica-se também como um estudo futuro uma análise estatística das relações aqui propostas, por meio de uma série de dados mais robusta, a fim de comprovar as interferências da atividade exercida nos sistemas de tratamento de efluentes industriais.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 9648. **Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário** - Procedimento. Rio de Janeiro, 1986.

ABNT. NBR 13969. **Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro, 1997. 60 p.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Disponibilidade e demanda de recursos hídricos no brasil**. Disponível em: <[www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)>. Acesso em: 07 set. 2017.

BARBOSA Gisele Silva. O Desafio do Desenvolvimento Sustentável. 4. ed. Rio de Janeiro: UFRJ, 2008. (Revista Visões; v.1)

BARBOSA, Gisele Silva. O desafio do desenvolvimento sustentável. **Revista Visões**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 4, jan./jun. 2008. Disponível em: <[http://www.fsma.edu.br/visoes/ed04/4ed\\_o\\_desafio\\_do\\_desenvolvimento\\_sustentavel\\_gisele.pdf](http://www.fsma.edu.br/visoes/ed04/4ed_o_desafio_do_desenvolvimento_sustentavel_gisele.pdf)>. Acesso em: 27 mai. 2018.

BASTOS, R.K.X. e BEVILACQUA, P.D. Normas e critérios de qualidade para reúso de água. Rio de Janeiro.2006.

BRAGA, B.: et al. Introdução à Engenharia Ambiental. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI J. E. W. A. **Manual de Tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1993.

BRASIL. Congresso. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. **Estabelece Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico**. Brasília, Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm)>. Acesso em: 12 out. 2017.

BRASIL. Resolução Conama, n 274, de 29 de novembro de 2000. Revisa os critérios de Balneabilidade em Águas Brasileiras.. Brasília, Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=272>>. Acesso em: 12 out. 2017.

BRASIL. Resolução Conama, n 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 12 out. 2017.

BRASIL. Resolução Conama, n 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Brasília, Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 12 out. 2017.

CAVALCANTI, J. E. W. A. Manual de Tratamento de Efluentes Industriais. 2 ed. São Paulo: Engenho Editora Técnica Ltda. 2012.

CERQUEIRA, G. A. et al. A Crise Hídrica e suas Consequências. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, abril/2015 (Boletim Legislativo no 27, de 2015). Disponível em: [www.senado.leg.br/estudos](http://www.senado.leg.br/estudos). Acesso em 16 de abril de 2015.

CETESB. Manganês. **Ficha de Informação Toxicológica**, São Paulo, abr. 2018. Disponível em:  
<<http://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/manganês.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

CUNHA, I.A. Negociação Ambiental em Áreas portuárias e Sustentabilidade. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, Fundação Seade, v. 20, n. 2, p. 59-70, abr./jun. 2006. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br>>; < <http://www.scielo.br>>.

FLORENCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M.M. **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

FREITAS, M. A. V. et al. **Manual de Boas Práticas Portuárias do Porto de Cabedelo**. Rio de Janeiro: CIRPS, 2014.

HESPANHOL, I. **Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos**. **Estudos avançados** v. 22, n. 63 p. 131-158, 2008.

HESPANHOL, I.; MIERZWA, J.C.; RODRIGUES, L.D.B; SILVA, M.C.C. **Manual de Conservação e Reuso de Água na Indústria**. Rio de Janeiro: FIRJAN, 2007.

HESPANHOL, I. **Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos**. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** v. 7.4 p. 75-95, 2002.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades IBGE**. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/sao-luis/panorama>>. Acessado em: 15 abr 2018.

LANNA, Antonio Eduardo. A economia dos recursos hídricos: os desafios da alocação eficiente de um recurso (cada vez mais) escasso. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63. 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142008000200008> >. Acesso em: 24 mai. 2018.

LIMNOS, **Hidrobiologia e Limnologia LTDA. Relatórios de Ensaio**. São Luís. 2017

MANCUSO, P. C. S., SANTOS, H. F. (ed.). **Reuso da Água**. São Paulo: Manole, 2013.

MARANHÃO. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão. Portaria nº 105, de 18 de novembro de 2011. Diário Oficial do Estado, São Luís, MA, 18 nov. 2011.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na indústria: uso racional e reuso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 143 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Comissão Interministerial para os recursos do Mar**. Agenda ambiental portuária. Brasília: 1998.

MORUZZI, Rodrigo Braga. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial – uma abordagem geral. **Revista de engenharia e tecnologia**, São paulo, v. 4, n. 1, p.111-222, abr. 2012. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/134886/issn2176-7270-2012-04-01-29-43.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 31 mai. 2018.

MUÑOZ, J.M. **La gestión de áreas litorales en España y Latinoamérica**. Cádiz: universidad de Cádiz, 2005. Disponível em: <http://minerva.uca.es/publicaciones/asp/docs/obrasDigitalizadas/barragan.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2017.

NUNES, J. A. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais**. 3 ed. Rev. ampl. São Paulo: Triunfo, 2001.

NUNES, J. A. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais**. 4 ed. Rev. ampl. São Paulo: Triunfo, 2004.

PINTO, M.A.T.; FORESTI, E.; JÚNIOR, J.M. **Reúso das Águas Residuárias**. Uma Análise Crítica. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

PREFEITURA DE SÃO LUÍS. A Cidade. Disponível em: <<https://www.saoluis.ma.gov.br/pagina/54/><<https://www.saoluis.ma.gov.br/pagina/54/>>. Acesso em: abr. 2018.

RAMOS, Marcos Henrique Centurione. Remoção de Cor, Ferro e Manganês de Águas com Matéria Orgânica Dissolvida por Pré-Oxidação com Dióxido de Cloro, Coagulação e Filtração. **Dissertação de mestrado**, UNAERP. Ribeirão Preto. 2010.

SABESP. Norma Técnica Interna SABESP: NTS 013. Sólido: Método de Ensaio. São Paulo, 2009.

SATTERTHWAITE, David. Como as cidades podem contribuir para o Desenvolvimento Sustentável. In: MENEGAT, Rualdo e ALMEIDA, Gerson (org.). Desenvolvimento Sustentável e Gestão Ambiental nas Cidades, Estratégias a partir de Porto Alegre. Porto Alegre: UFRGS Editora, pp. 129-167, 2004.

SILVA, F. A. A. et al. Caracterização da Biodegradabilidade do Efluente Água Vermelha Gerado Durante o Beneficiamento do 2,4,6-trinitrotolueno . **22o Simpósio Internacional de Iniciação Científica e Tecnológica da USP**, USP, São Paulo. 2014.

SIV. Sistema Integrado VLI. Disponível em: <<https://sivsistema.com>>. Acessado em: 2 mai. 2018.

TECMA. Proposta Técnica nº 025/16/15. Rev 00. Rio de Janeiro, 29 de Julho de 2016.

TECMA. Projeto Básico Hidráulico Sanitário do Sistema de Tratamento de Efluentes Líquidos Industriais do Terminal Integrador de São Luís. São Luís, dez. 2016.

TECMA. Relatório Técnico Conclusivo da Qualidade do Efluente Líquido Industrial da ETEI do Terminal Integrador de São Luís. São Luís, jul. 2017a.

TECMA. Manual de Operação e Manutenção do Sistema de Tratamento de Efluentes Líquidos Industriais do Terminal Integrador de São Luís. São Luís, fev. 2017b.

TELLES & COSTA. Reúso da água: conceitos, teorias e práticas / coordenação Dirceu D' Alkmin Telles, Regina Helena Pacca Guimarães Costa - 2a edição - São Paulo: Editora Blucher, 2010.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA,  
2004. **Manual: Guidelines for water reuse.** Washington. DC:(EPA/625/R-04/108).

Disponível

em:<http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/Water-Reuse-Guidelines-625r04108.pdf>

VLI. Valor da Logística Integrada. Terminal Portuário de São Luís. Disponível em:  
<<http://www.vli-logistica.com.br/conheca-a-vli/portos/tp-sao-luis-ma/>>. Acesso em: abr.  
2018.

VLI. Procedimento 486. Armazenar Carga no Porto. 2017a. Disponível em:

<<http://ibpms.vlinet.local/ibpms/>>.

VLI. Procedimento 549. Embarcar Carga no Porto. 2017b. Disponível em:

<<http://ibpms.vlinet.local/ibpms/>>.

VLI. Procedimento 1352. Estação de Tratamento de Efluente. 2017c. Disponível em:

<<http://ibpms.vlinet.local/ibpms/>>.

VLI. Procedimento 163. Implementar Práticas de Conservação e Reuso de Água. 2017d.

Disponível em: < <http://ibpms.vlinet.local/ibpms/>>.

VLI. Procedimento 47. Gerenciar Recursos Hídricos. 2017. Disponível em:

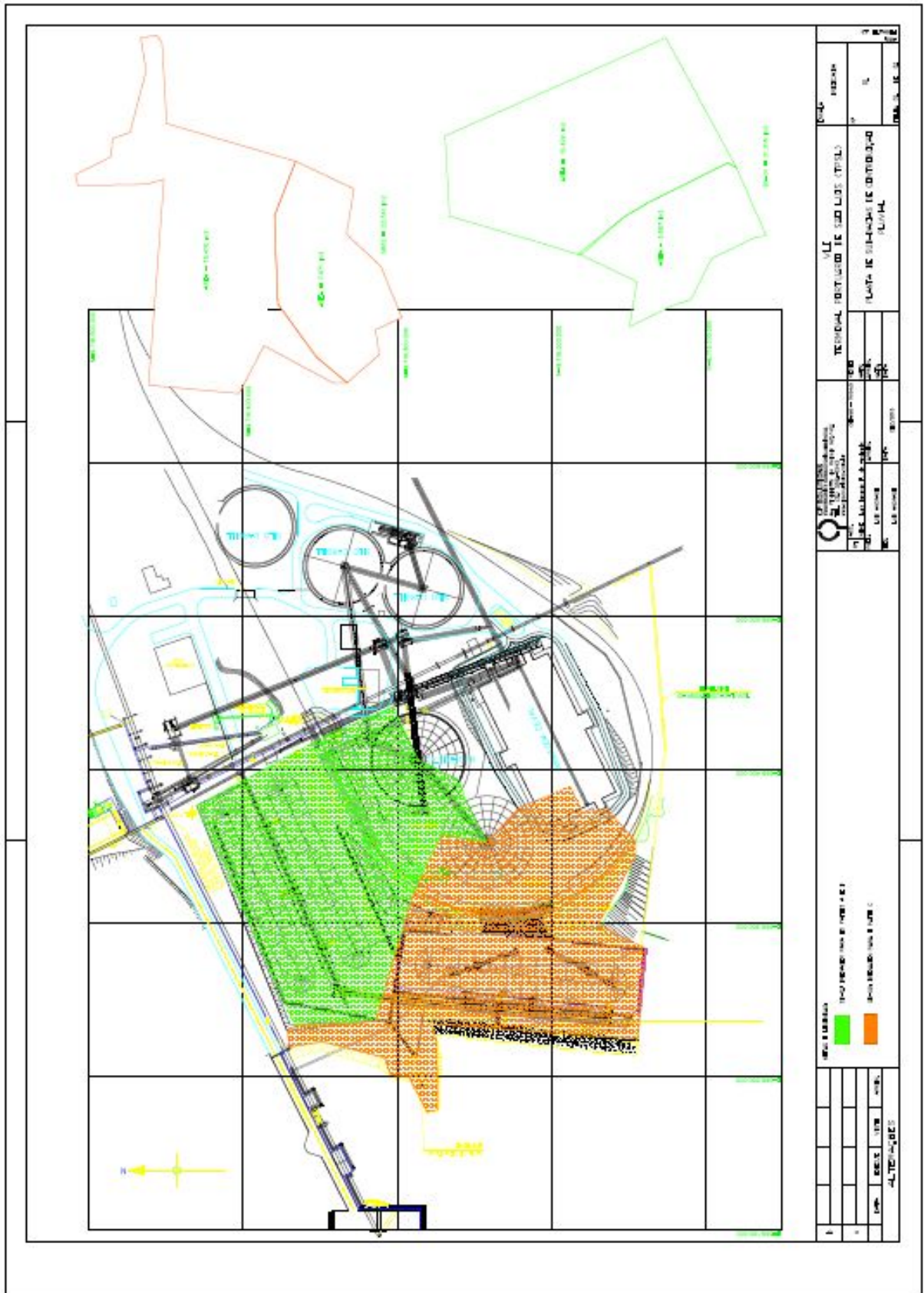
<<http://ibpms.vlinet.local/ibpms/>>.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. ed.  
Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2002. 452p. (Princípios do tratamento de biológico de água  
residuárias; v.1)



VON SPERLING, M. Biological Wastewater Treatment Series. 1. ed. Belo Horizonte:  
DESA/UFMG, 2007. 452p. (**Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal**; v.1)

# ANEXO I – Bacia de Contribuição



**ANEXO II - Resultados de Todas as Análises Realizadas (continua...)**

Análise	Unid.	Jun/17 (ensato 1)		Jun/17 (ensato 2)		Jun/17 (ensato 3)		Jun/17 (ensato 4)		Jul/17	
		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
DBO	mg/L	130	29	92	32	106	3	1371,5	877,5	351	243,8
% Remoção DBO	%	<b>78</b>		<b>65</b>		<b>97</b>		<b>36</b>		<b>31</b>	
DQO	mg/L	0	0	0	0	0	0	1395	1184	602,8	448
								1,02		1,72	
Manganês dissolvido	mg/L	3,65	< 0,06	4,5	0,83	4,2	0,47	0	0	0	0
Ferro Solúvel	mg/L	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	-	-	-	-
Óleos minerais (hidrocarbonetos)	mg/L	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 1,0	1,2	< 1,0	2,6
Óleos vegetais e Gorduras Animais	mg/L	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
pH (campo)	-	7	8,3	8,9	8,3	7	8,3	7,2	7,5	7,9	7,7
Sólidos Sedimentáveis	mL/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,5	<b>1,1</b>	< 1,0	< 1,0
Temperatura	°C	25	26,2	25	26	26	28	30	27	33	29

**ANEXO II - Resultados de Todas as Análises Realizadas (continuação)**

Parâmetros Analisados		ago/17		set/17		out/17		nov/17		dez/17		abr/18	
Análise	Unid.	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
DBO	mg/L	770,3	330,9	1072,5	1569,8	523,3	170,3	204,8	7,9	819	161,2	2,2	2
% Remoção DBO	%	<b>57</b>		<b>-46</b>		<b>67</b>		<b>96</b>		<b>80</b>		<b>9</b>	
DQO	mg/L	884,8	426	1697,1	1897,1	661,7	200	306,9	10,2	1290,4	246,1	158,3	105
Manganês dissolvido	mg/L	1,15		1,58		1,26		1,50		1,58		71,95	
	mg/L	0	0,15	28,6	0,08	0	< 0,05	<b>5,2</b>	<b>3,99</b>	68,33	<b>30,27</b>	0,77	<b>0,85</b>
Ferro Solúvel	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	ND	ND	ND	ND
Óleos minerais (hidrocarbonetos)	mg/L	1,1	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Óleos vegetais e Gorduras Animais	mg/L	3	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
pH (campo)	-	6,6	6,8	6,9	6,5	7,4	7,8	7,8	8	6,7	7,2	7,8	7,6
Sólidos Sedimentáveis	ml/L	< 1,0	< 1,0	1	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 0,1	0,2	0,7	0,1
Temperatura	°C	25	28	28	27	30	31	31	30	33	31	30	29