



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica & Escola de Química
Programa de Engenharia Ambiental

**ABORDAGEM DE RISCOS EM ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA
FARMACÊUTICA EM RELAÇÃO À QUALIFICAÇÃO DE
INSTRUMENTOS**

Wallace Fernandes Tavares da Silva

Rio de Janeiro
2023



UFRJ

Wallace Fernandes Tavares da Silva

ABORDAGEM DE RISCOS EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA FARMACÊUTICA EM RELAÇÃO À QUALIFICAÇÃO DE INSTRUMENTOS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof^a. DSc. Adriana Sotero Martins

Coorientadora: Prof^a. DSc. Fabiana Valéria da Fonseca

Rio de Janeiro
2023

DA SILVA, Wallace Fernandes Tavares

ABORDAGEM DE RISCOS EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA FARMACÊUTICA EM RELAÇÃO À QUALIFICAÇÃO DE INSTRUMENTOS. / Wallace Fernandes Tavares da Silva. – 2023

f:213.:il.30 cm

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2023.

Orientadora: Adriana Sotero Martins

Coorientadora: Fabiana Valéria da Fonseca

1. Análise de risco. 2. Tratamento de efluentes. 3. Indústria Farmacêutica. 4. Qualificação

I. Martins, Adriana Sotero. II. Fonseca, Fabiana Valéria. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica e Escola de Química. IV. Título.



UFRJ

ABORDAGEM DE RISCOS EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA FARMACÊUTICA EM RELAÇÃO À QUALIFICAÇÃO DE INSTRUMENTOS

Wallace Fernandes Tavares da Silva

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada pela Banca:

Adriana Sotero Martins

Presidente, Prof. Adriana Sotero Martins, D.Sc, ENSP/FIOCRUZ

Leandro Torres Di Gregorio

Prof., Leandro Torres Di Gregorio, D.Sc, UFRJ

Miguel Angel de la O Herrera

Prof., Miguel Angel De La O Herrera, D.Sc, Bio-Manguinhos/FIOCRUZ

Isabelli Dias Bassin

Prof., Isabelli Dias Bassin, D.Sc, UFRJ

Rio de Janeiro

2023

DEDICATÓRIA

“Dedico esse trabalho a minha família. Especialmente a minha querida mãe Irene Tavares da Silva, minha irmã Tacila, meus queridos sobrinhos Arthur , Thomas, Letícia e Alícia e a minha esposa Jéssica Pereira Santiago. Vocês são tudo para mim.”

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, meu sincero agradecimento a todos os colaboradores e especialistas que aceitaram participar deste trabalho e permitiram que esse trabalho fosse concluído.

Agradeço a Dra. Adriana Sotero Martins e a Dra. Fabiana Valeria da Fonseca pela orientação, paciência, apoio e condução durante a pesquisa. Muito obrigado!

Agradeço aos docentes do PEA/UFRJ pelos conhecimentos e ao PEA/UFRJ por permitir que esse trabalho fosse realizado.

Agradeço a minha família por entender minha ausência em certos momentos durante a elaboração da pesquisa, pela paciência, incentivo e amor. Muito obrigado Irene Tavares da Silva, Tacila Fernandes Tavares da Silva e Jéssica Pereira Santiago.

E a agradeço a Deus por sempre me conduzir.

“Só querer ser já nos faz ser gigantes.”
BK’

RESUMO

DA SILVA, Wallace Fernandes Tavares. ABORDAGEM DE RISCOS EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA FARMACÊUTICA EM RELAÇÃO A QUALIFICAÇÃO DE INSTRUMENTOS. Rio de Janeiro. 2023. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

A indústria farmacêutica tem papel fundamental no que diz respeito a produção de produtos estratégicos para manutenção e prevenção da saúde da população mundial através da produção de grande variedade de insumos farmacêuticos ativos. Objetivando desempenhar esse papel, seus processos devem estar em consonância com as exigências regulatórias visando a qualidade de seus produtos, respeitando o meio ambiente e a saúde da população. Um dos fatores que subsidiam essa garantia é a qualificação de equipamentos e instrumentos que auxiliam na adequada operacionalidade de seus processos. No setor farmacêutico, geralmente a qualificação é realizada por áreas que não pertencem ao setor onde o instrumento e o equipamento serão utilizados, não existindo muitas das vezes um racional técnico a ser seguido durante a qualificação. Nesse estudo foi utilizada a ferramenta de análise de risco HAZOP integrada a uma matriz de risco através de um estudo de caso em uma estação de tratamento de efluente industrial de indústria farmacêutica para auxiliar na elaboração de um plano de priorização de qualificação de instrumentos baseado em riscos. Foram identificados 18 nós que permitiram estabelecer a priorização dos instrumentos para cada um. Além disso, a ferramenta identificou riscos inerentes na estação de tratamento de efluente, o que gerou ações e recomendações a serem implementados para evitar riscos que pudessem gerar impactos negativos aos colaboradores, ao meio ambiente e a saúde pública. A avaliação indicou que a ferramenta empregada tem potencial aplicação, podendo ser utilizada tanto nas estações de tratamento de efluente quanto, principalmente, nas áreas produtivas.

Palavras-chave: Análise de risco; Qualificação de instrumentos; Indústria Farmacêutica; Estação de Tratamento de Efluente Industrial

ABSTRACT

DA SILVA, Wallace Fernandes Tavares. ABORDAGEM DE RISCOS EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA FARMACÊUTICA EM RELAÇÃO A QUALIFICAÇÃO DE INSTRUMENTOS. Rio de Janeiro. 2023 Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023

Pharmaceutical industry has a fundamental role in the production of strategic products for maintaining and preventing world population health through the production of a wide variety of active pharmaceutical ingredients. Aiming to keep it, its processes must be in consonance with regulatory fulfillments aiming for product quality respecting the environment and population health. One of the points for this assurance is the equipment and instruments qualification that assists in suitable operability in its processes. In the Pharmaceutical sector, the qualification is done for some areas where the equipment and instruments will not be used there often, a technical ration will not be followed while the qualification is performing. Therefore, this study has been dedicated to using the HAZOP risk analysis tool integrated with matrix risk through of case study in a pharmaceutical industrial wastewater treatment plant for assisting in an instrument's qualification plan prioritization based on risk. This work identified 18 study nodes which enabled the prioritization of instruments for each node. Besides that, the tool found inherent risks in pharmaceutical industrial wastewater treatment plants, which generated actions and recommendations to be implemented, avoiding risks that could negatively impact employees, environmental and population health. Results showed that the tool can be used both in wastewater treatment plants and mainly in production areas.

Keyword: Risk analysis; Instruments qualification; Pharmaceutical industry; Industrial Effluent Treatment Plant

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Possíveis rotas da geração de substâncias contaminantes emergentes. Fonte: Adaptado de Gonzáles , 2022.	28
Figura 2 - Classificação dos Resíduos dos Serviços de Saúde. Fonte: Adaptado de RDC 222, 2018.....	31
Figura 3- Esquema de processo de lodo ativado, composto de bomba de recirculação, tanque aerado e decantador secundário. Fonte: elaboração própria, 2022.....	38
Figura 4- Esquema das zonas de um reator UASB. Fonte: PROBIOGAS, 2015.	40
Figura 5 - Exemplo de cassete de membrana. Fonte: Noble, 2006	41
Figura 6- Linha do tempo de iniciativas internacionais para segurança de processos. Fonte: Adaptado de Fernandes, 2018.	50
Figura 7 - Etapas do processo de gerenciamento de riscos. Fonte: Adaptado de ISO 31000, 2012	51
Figura 8- Estratégia de pesquisa bibliográfica. Elaboração própria, 2022.....	72
Figura 9 – Pesquisa em diferentes bancos de dados. A) CAPES; B) Google Scholar; C) PubMed; D) Scopus; E) Web of Science. Fonte: Elaboração própria, 2022.....	84
Figura 10 - Países responsáveis pelas vendas de novos produtos farmacêuticos (2016 - 2021). Fonte: Adaptado de EFPIA,2022.	90
Figura 11 - Distribuição de literatura cinza por regiões. Fonte: o autor, 2023...	92
Figura 12 – Vista superior das etapas da ETE do estudo de caso.....	106
Figura 13 - Etapas da ETE do estudo de caso. 0 e 1- Elevatória; 2- Gradeamento, Caixa de Areia e Calha Parshal; 3- Tanque de Equalização; 4- Tanque de Aeração;5-Sedimentadores secundários;6-Bomba de Recirculação;7-Tanque de Lado; 8-Calha Parshal;9-Tratamento do lodo	106
Figura 14 - Fluxograma de Processo da ETE com nós – Parte 1	199
Figura 15 - Fluxograma de Processo da ETE com nós- Parte 2	200
Figura 16 - Layout da planilha utilizada de HAZOP e Matriz de Risco	206

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição dos efluentes farmacêuticos de acordo com o processo. Adaptado de Gadipelly et. al, 2018.....	26
Tabela 2 - Classificação de risco de agentes biológicos e níveis de biossegurança	29
Tabela 3 - Características das instalações de acordo com o nível de biossegurança	32
Tabela 4 - Técnicas de tratamento de efluente e suas subcategorias	36
Tabela 5 - Classificação dos processos oxidativos avançados. Fonte: Adaptado de Aziz et.al., 2019.	44
Tabela 6- Exemplos de metodologias de análise de risco e suas abordagens. Fonte, adaptado de NBR ISO 31010, 2019.	53
Tabela 7 - Frequência de ocorrência de um evento. Fonte: OSTROM & WILHELMOSEN, 2019.....	57
Tabela 8- Categorização das consequências. Fonte: OSTROM & WILHELMOSEN, 2019.....	57
Tabela 9 - Exemplo de planilha de "What If?". Fonte: elaboração própria, 2022.	59
Tabela 10 - Exemplos de palavras-guia e seu respectivo significado. Fonte: Adaptado de IEC, 2016.	62
Tabela 11 - Exemplo de planilha de HAZOP. Fonte, elaboração própria, 2022.	62
Tabela 12- Exemplo de planilha de FMEA/FMECA. Fonte: Elaboração própria, 2022.	67
Tabela 13 - Exemplo de matriz de risco. Fonte: Adaptado de WHO, 2016.....	69
Tabela 14- Equipe multidisciplinar.....	73
Tabela 15 - Escala e descrição de ocorrência. Fonte: Adaptado de Falakh & Setiani, 2018.....	76
Tabela 16 - Escala e descrição de severidade. Fonte: Adaptado de Tuser e Oulehlová, 2021	76
Tabela 17 - Matriz de risco proposta com as faixas. Fonte: Adaptado de Falakh & Setiani, 2018.....	77
Tabela 18 - Matriz proposta com nível de risco	77
Tabela 19 - Faixa de nível de risco	78
Tabela 20 - Níveis de detectabilidade. Fonte: Adaptado de Azar, 2017.....	79
Tabela 21 -Pontuação para priorização de risco	79
Tabela 22 - Faixas de grau de correlação do coeficiente de Spearman. Fonte: Yan et.al, 2019	81
Tabela 23 - Número de artigos por palavras-chave portal CAPES.....	82
Tabela 24 - Número de artigos por palavras-chave em diferentes bases de dados no intervalo de 10 anos.....	83
Tabela 25 - Classificação de áreas limpas em relação a número de partículas por m ³	102
Tabela 26- Principais componentes utilizados nos processos produtos da indústria farmacêutica do estudo	103
Tabela 27- Características do afluente da ETE	104
Tabela 28- Análise preliminar de risco da ETE	110
Tabela 29 - Nós de estudo da ETE	114
Tabela 30- Desvios - Nó 1	118

Tabela 31 - Resultados da análise de risco - Nó1	120
Tabela 32 - Desvios - Nó 2	123
Tabela 33 - Resultados da análise de risco - Nó2	124
Tabela 34 - Desvios - Nó 3	126
Tabela 35 - Resultados da análise de risco - Nó3	128
Tabela 36 - Desvios - Nó 4	130
Tabela 37 - Resultados da análise de risco - Nó4	131
Tabela 38 - Desvios - Nó 5	133
Tabela 39 - Resultados da análise de risco Nó 5	134
Tabela 40 - Desvios - Nó 6	136
Tabela 41 - Resultados da análise de risco Nó 6	138
Tabela 42 – Desvios - Nó 7	141
Tabela 43 - Resultados da análise de risco Nó 7	142
Tabela 44 - Desvios - Nó 8	143
Tabela 45 - Resultados da análise de risco Nó 8	145
Tabela 46 - Desvios - Nó 9	150
Tabela 47 - Resultados da análise de risco Nó 9	152
Tabela 48 - Desvios - Nó 10	154
Tabela 49 - Resultados da análise de risco Nó 10	155
Tabela 50 - Desvios - Nó 11	156
Tabela 51 - Resultados da análise de risco Nó 11	158
Tabela 52 - Desvios - Nó 12	160
Tabela 53 - Resultados da análise de risco Nó 12	161
Tabela 54 - Desvios - Nó 13	163
Tabela 55 - Resultados da análise de risco Nó 13	164
Tabela 56 - Desvios - Nó 14	165
Tabela 57 - Resultados da análise de risco Nó 14	166
Tabela 58 - Desvios - Nó 15	167
Tabela 59 - Resultados da análise de risco Nó 15	168
Tabela 60 - Desvios - Nó 16	170
Tabela 61 - Resultados da análise de risco Nó 16	171
Tabela 62 -Desvios - Nó 17	172
Tabela 63 - Resultados da análise de risco Nó 17	174
Tabela 64 -Desvios - Nó 18	176
Tabela 65 - Resultados da análise de risco Nó 18	177
Tabela 66 - Ranqueamento de instrumentos a serem qualificados por nó	178
Tabela 67 - Resultados da estatística descritiva	181
Tabela 68 - Contagem e distribuição dos níveis	182
Tabela 69 - Matriz de correlação das variáveis com sinalização de correlações significativas por “*”	183

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Análise temporal utilizando "risk assessment pharmaceutical industry". Fonte: Elaboração própria, 2022.....	85
Gráfico 2 - Análise temporal utilizando "risk management wastewater treatment plant". Fonte: Elaboração própria, 2022.	85
Gráfico 3 - Análise temporal utilizando "risk assessment wastewater treatment plant". Fonte: Elaboração própria, 2022.	86
Gráfico 4- Análise temporal utilizando "risk analysis wastewater treatment pharmaceutical industry". Fonte: Elaboração própria, 2022.....	87
Gráfico 5 - Análise temporal utilizando "risk assessment wastewater pharmaceutical industry". Fonte: Elaboração própria, 2022.....	88
Gráfico 6 - Análise temporal utilizando "risk assessment wastewater pharmaceutical industry". Fonte: Elaboração própria, 2022.....	88
Gráfico 7- Países líderes de publicação utilizando "risk assessment pharmaceutical industry"	89
Gráfico 8- Países líderes de publicação utilizando "risk anlysis wastewater treatment pharmaceutical industry"	91
Gráfico 9- Países líderes de publicação utilizando "risk assessment wastewater pharmaceutical industry "	91
Gráfico 10 - Países líderes de publicação utilizando "risk management pharmaceutical industry"	91
Gráfico 11 – Concentração cumulativa de IFA por renda per capita. Fonte: Wilkinson et.al, 2021.	93
Gráfico 12- Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 1.....	119
Gráfico 13 - Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 2	124
Gráfico 14- Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 3	127
Gráfico 15 - Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 4	131
Gráfico 16 - Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 5	134
Gráfico 17- Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 6	137
Gráfico 18- Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 7	142
Gráfico 19 - Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 8	144
Gráfico 20- Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 9	151
Gráfico 21 - Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 10	154
Gráfico 22- Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 11	157
Gráfico 23- Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 12	161
Gráfico 24 - Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 13	163
Gráfico 25 - Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 14	166
Gráfico 26 - Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 15.....	168
Gráfico 27 - Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 16.....	171
Gráfico 28 - Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 17	173
Gráfico 29 - Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 18.....	176
Gráfico 30- Aderência ao estudo	179
Gráfico 31 - Distribuição dos riscos por nó de estudo.....	180
Gráfico 32 - Média da pontuação por nó de estudo.....	181

LISTA DE SIGLAS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CIP	Limpeza no local (<i>Clean in place</i>)
CNBS	Conselho Nacional de Biossegurança
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONEP	Conselho Nacional de Ética em Pesquisa
COT	Carbono Orgânico Total
CQB	Certificado de Qualidade em Biossegurança
CTNBio	Comissão Técnica Nacional de Biossegurança
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMA	Agência Europeia de Medicamentos
ETE	Estação de Tratamento de Efluente
FDA	<i>Food And Drug Administration</i>
FMEA	Análise de Modo de Falhas e Efeitos (<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>)
FMECA	Análise do modo de falha, efeitos e criticidade (<i>Failure mode, effects and critically analysis</i>)
FTA	Análise da Árvore de Falhas (<i>Fault tree Analysis</i>)
FuHA	<i>Functional Hazard Analysis</i>
HAZOP	Estudo de Perigo e Operabilidade (Hazard and Operability Study)
HCCP	Análise de perigos e pontos críticos (<i>Hazard analysis and critical control points</i>)
HIRA	Identificação de Perigo e Avaliação de Risco (<i>Hazard Identification Risk Assessment</i>)
HRA	Análise de confiabilidade humana

ICH	Conselho Internacional de Harmonização (<i>International Council on Harmonisation</i>)
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IN	Instrução Normativa
INEA	Instituto Estadual do Meio Ambiente
IFA	Insumo Farmacêutico Ativo
ISO	Organização Internacional de Normatização (<i>International Organization for Standardization</i>)
LOPA	Análise de camada de proteção
MS	Ministério da Saúde
NR	Norma Regulamentadora
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
OGM	Organismo Geneticamente Modificado
PHA	Análise preliminar de perigos (<i>Preliminary Design Hazard Analysis</i>)
PHL	Lista preliminar de perigo (<i>Preliminary Hazard List</i>)
PNB	Política Nacional de Biossegurança
QD	Qualificação de projeto
QD	Qualificação de Desempenho
QI	Qualificação de Instalação
QO	Qualificação de Operação
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SST	Sólidos em Suspensão Total
SSTA	Sólidos em Suspensão Total no Tanque de Aeração
WHO	Organização Mundial da Saúde (<i>World Health Organization</i>)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
2. OBJETIVOS	23
2.1. Objetivo geral	23
2.2. Objetivos específicos	23
3. ESTRUTURA DO TRABALHO	24
3.1. Delineamento do Estudo	24
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
4.1. Tipos de processos de produção da indústria farmacêutica	25
4.2. A saúde ambiental e tecnologias para o tratamento de efluentes industriais farmacêuticos	27
4.2.1. A indústria farmacêutica e a saúde ambiental	27
4.2.1.1. A biossegurança	28
4.2.1.2. Impacto no ecossistema aquático	33
4.2.1.3. Impacto no solo e plantas	34
4.2.2. Tecnologias de tratamento de efluente	36
4.2.2.1. Tratamento Biológico	37
4.2.2.1.1. Tratamento aeróbio	37
4.2.2.1.1.1. Lodo Ativado	37
4.2.2.1.1.2. Reator batelada sequencial (RBS)	38
4.2.2.1.1.3. Biorreator com filme integrado com lodo ativado	39
4.2.2.1.2. Tratamento anaeróbio	39
4.2.2.1.2.1. Reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB)	40
4.2.2.1.2.2. Reator anaeróbio de batelada sequencial	40
4.2.2.2. Tratamentos Avançados	41
4.2.2.2.1. Biorreatores de membrana (MBR)	41
4.2.2.2.2. Destilação por Membrana	42
4.2.2.2.3. Nanofiltração	42
4.2.2.2.4. Osmose Inversa	43
4.2.2.2.5. Carvão ativado	43
4.2.2.3. Processos oxidativos avançados	43
4.2.2.3.1. Tratamento com O ₃ /H ₂ O ₂	44
4.2.2.3.2. Tratamento por oxidação de Fenton	45
4.2.2.3.3. Tratamento com H ₂ O ₂ /UV	46
4.2.2.3.4. Fotocatálise Heterogênea	46

4.3.	Conceito de qualificação de instrumentos e equipamentos	47
4.3.1.	Tipos de Qualificação	48
4.4.	Gerenciamento de risco e análise de risco	49
4.4.1.	Metodologias para gerenciamento de risco	52
4.4.1.1.	Análises qualitativas	54
4.4.1.2.	Análises quantitativas	54
4.4.1.3.	Metodologias para identificação de risco	54
4.4.1.3.1.	Delphi	54
4.4.1.3.2.	Análise Preliminar de Perigo - PHA	55
4.4.1.3.3.	Técnica “WHAT IF” (SWIFT)	58
4.4.1.4.	Metodologias para análise de risco	59
4.4.1.4.1.	HAZOP – Estudo de Perigo e Operabilidade	59
4.4.1.4.2.	Árvore de Falhas (FTA)	63
4.4.1.4.3.	Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC)	64
4.4.1.4.4.	Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA) e Análise de Criticidade de Falha (FMECA)	65
4.4.1.4.5.	LOPA – Análise de Camadas de Proteção	67
4.4.1.5.	Metodologias para Avaliação de Risco	68
4.4.1.5.1.	Matriz de Risco	68
4.4.1.5.2.	Árvore de Decisões	69
5.	METODOLOGIA	71
5.1.	Estratégia de busca do estado da arte	71
5.2.	Formação da Equipe de Expertise	72
5.3.	Metodologia Hazop, Matriz de Risco e Delphi	73
5.4.	Tratamento Estatístico dos Dados Coletados	80
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	82
6.1.	Estado da arte e análise temporal	82
6.1.1.	Análise dos Artigos	93
6.2.	Estudo de Caso	100
6.2.1.	Contextualização	100
6.2.2.	Condições e Caracterização do Efluente	103
6.2.3.	Requisitos e Etapas da Estação de Tratamento de Esgoto	104
6.2.3.1.	Requisitos e Diretrizes	104
6.2.3.2.	Fluxograma e Descrição das Etapas	105
6.3.	Análise Preliminar	109
6.4.	Definição dos nós de estudo	113
6.5.	Priorização da qualificação dos instrumentos e análise dos riscos	118

6.5.1.	NÓ 1 - TQ-ELV-02	118
6.5.2.	NÓ 2 - TQ-ELV-01	122
6.5.3.	NÓ 3 – Calha Parshal 01	126
6.5.4.	NÓ 4 – Calha Parshal 02	129
6.5.5.	NÓ 5– Tanques ácido-base	133
6.5.6.	NÓ 6– Tanque de Equalização	136
6.5.7.	NÓ 7 – Caixa de Distribuição - CX-TQ-AER	141
6.5.8.	NÓ 8 – Tanque de Aeração - TQ-AER-01 e TQ-AER-02	143
6.5.9.	NÓ 9 – Sopradores - SOP-01 e SOP-02	150
6.5.10.	NÓ 10 – Caixa de Distribuição – CX-TQ-DEC	153
6.5.11.	NÓ 11 – Tanques de Decantação - TQ-DEC-01 e TQ-DEC-02	156
6.5.12.	NÓ 12 - Calha Parshal 03	159
6.5.13.	NÓ 13 – Elevatória de Escuma – TQ-ELV-ESC	162
6.5.14.	NÓ 14 – Elevatória de Lodo - TQ-ELV-LD-01	165
6.5.15.	NÓ 15 – Tanque de Lodo - TQ-TRAN-LD	167
6.5.16.	NÓ 16 – Adensador Dinâmico - ADEN-01	169
6.5.17.	NÓ 17 – Centrífuga do tipo tambor CEN-01	172
6.5.18.	NÓ 18- Tanque de polímero	175
6.6.	Resultados estatísticos	179
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	184
8.	CONCLUSÃO	186
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	187
10.	ANEXOS	199
10.1.	ANEXO A – FLUXOGRAMA E NÓS DE ESTUDO	199
10.2.	ANEXO B – MODELO DE FORMULÁRIO APR E TCLE	201
10.3.	ANEXO C – PLANILHA HAZOP	206
10.4.	ANEXO D – MODELO DE QUESTIONÁRIO	207

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que o desenvolvimento de medicamentos tem como objetivo principal a manutenção da saúde, a cura e o tratamento de doenças da população. Como consequência, ao longo do tempo a indústria farmacêutica brasileira e mundial vem crescendo com intuito de garantir estas metas através do desenvolvimento e fornecimento de vacinas, fármacos, biofármacos e medicamentos biotecnológicos (ROCHA, 2018). Para permitir este crescimento que acompanha o desenvolvimento de novos medicamentos, a identificação de impactos ambientais à saúde pública e ao meio ambiente oriundos do lançamento dos efluentes farmacêuticos nos corpos receptores se faz necessário, assim como a adequação e o aprimoramento de novas técnicas para o tratamento dos efluentes, visando respeitar as normas e os limites estabelecidos pela legislação vigente, como na Resolução CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011). Paralelamente, para atender as exigências da indústria farmacêutica em relação a estes temas, os níveis de segurança e eficácia em seus processos são essenciais para garantir os padrões de qualidade sem gerar impactos ao meio ambiente e à população (CHOI, 2012).

Tem-se conhecimento que a indústria farmacêutica é considerada uma das maiores consumidoras de recursos hídricos do mundo (ROCHA, 2018). Isso se deve principalmente ao grande consumo de água associada às operações de lavagens de linhas e equipamentos de produção, conhecidas como *clean in place* (CIP), que tem como função principal a remoção de resíduos e substâncias obtidas durante o processo, além da utilização na própria linha de produção (EMA, 2018). A sazonalidade da produção e as características específicas que variam de acordo com o produto fabricado fornecem complexidade e um desafio para o adequado tratamento do efluente da indústria farmacêutica, que exigem técnicas de tratamento e plantas adequadas que atendam a variação de volume e a variedade de produtos (GIODARNO e SURERUS, 2015). Dessa forma, além de auxiliar na promoção à saúde pública através de medicamentos que atendam aos requisitos de qualidade, a indústria farmacêutica deve garantir o devido tratamento dos seus efluentes industriais.

Percebe-se, que substâncias como hormônios, anti-inflamatórios,

antibióticos dentre outros, não são levados em consideração nos parâmetros de caracterização e monitoramento nos efluentes da indústria farmacêutica brasileira, por conta da ausência de limites estabelecidos e exigências na legislação vigente. Um exemplo é a Resolução CONAMA 357/2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e condições e padrões de lançamento de efluentes e a Resolução CONAMA 430/2011, que altera e complementa a resolução anterior, dispondo sobre as condições, parâmetros e padrões para o lançamento de efluentes em corpos de água. Em ambas, não são considerados limites de substâncias poluidoras emergentes, como os fármacos. Isso permite a possibilidade de um efluente carrear princípios ativos que podem oferecer risco a saúde pública e ao meio ambiente, favorecendo por exemplo o desenvolvimento de bactérias resistentes, bioacumulação na cadeia trófica e a contaminação dos solos e rios (SANGION e GRAMÁTICA, 2016). A indústria farmacêutica brasileira, assim como outras no mundo, é responsável por uma grande gama de produção de insumos farmacêuticos ativos (IFA). As moléculas que compõem o IFA possuem grande atividade biológica em baixas concentrações, além de alta capacidade hidrofílica e terem baixa taxa de adsorção. Essas características promovem estabilidade e resistência a estas moléculas, no que diz respeito a sua biodegradabilidade, o que torna um desafio a sua degradação por técnicas convencionas em estação de tratamento de efluente (MARTZ, 2012). Neste caso, é identificada a importância que se tem na escolha da técnica a ser utilizada para o tratamento desses tipos de efluentes, buscando além dos equipamentos adequados, a instrumentação adequada para evitar desvios.

A preocupação da presença de IFA's e seus resíduos no meio ambiente tem recebido cada vez mais importância no mundo, o que gera consequentemente a relevância para uma boa gestão do tratamento de efluentes. Trabalho realizado por Wilkinson *et.al* (2021) conseguiu identificar através de análises em 258 rios ao redor do mundo a presença de diferentes IFA's, que poderiam afetar a vida de até 471 milhões de pessoas através de possíveis impactos ambientais. O trabalho conseguiu estabelecer importante relação socioeconômica, indicando que os países de média e baixa renda,

localizados na África Subsariana, Ásia e América do Sul foram aqueles que apresentaram as maiores concentrações cumulativas de IFA's, sendo o Paquistão o país que apresentou a maior concentração (70,8 µg/L). Em comum, as regiões apresentavam precária gestão de tratamento de efluente e infraestrutura para o adequado tratamento de seus efluentes.

Dessa forma, visando auxiliar em uma boa gestão, a instrumentação é uma das peça-chave para o funcionamento de uma planta de tratamento, pois está associada às sondas de monitoramento e as estratégias de controle implementadas. Sondas de oxigênio, pH, temperatura e condutividade, por exemplo, são fundamentais para processos químicos e biológicos dentro das indústrias, pois visam manter os parâmetros de processo dentro das faixas ideais, evitando perdas de produto e desvios que podem gerar custos financeiros e riscos à segurança do processo, humano e ao meio ambiente. A falta de um plano de manutenção preventiva, calibração, testes de desempenho, procedimentos adequados desses instrumentos, podem colocar em risco o processo e até mesmo a segurança dos colaboradores e do meio ambiente (TRÁVICEK *et al.*, 2021). Em muitos casos o plano de qualificação é realizado por setores que não estão inseridos no sistema estudado e em muitas vezes as etapas de qualificação são longas, e a priorização desses instrumentos pode ser de interesse para o aceleração desse processo, pois pode indicar quais instrumentos necessitam de priorização em sua qualificação de acordo com sua importância e criticidade ao processo.

Logo, o adequado funcionamento de sondas e a identificação de sua criticidade para o processo tem grande relevância para a etapa de qualificação na indústria farmacêutica. A Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) 658/2022, que dispõe sobre as Boas Práticas de Fabricação (BPF) no Brasil, estabelece a necessidade de um programa de gerenciamento de risco para mitigação de riscos inerentes aos processos produtivos da indústria farmacêutica, assim como a guia ICH-Q9, do Conselho Internacional de Harmonização, que dispõe princípios e ferramentas que podem ser utilizadas para uma gestão de riscos à qualidade farmacêutica. Entretanto, essas atividades geralmente são delimitadas aos processos produtivos e não se expandem aos processos complementares como as estações de tratamento de efluentes. Martz (2012)

defende que as estações de tratamento de efluentes de indústrias farmacêuticas devem ser parte integrante do processo produtivo e que podem afetar diretamente as boas práticas de fabricação. De acordo com Pollard & Stephenson (2016), uma gestão adequada cria valor às organizações do ponto de vista de reputação e confiança com seus clientes. Os autores ainda defendem que tomadas de decisão baseadas em riscos são importantes para permitirem e auxiliarem, alinhados a um tratamento de efluente efetivo, proteção à saúde pública e ao meio ambiente. Percebe-se, neste caso, a importância para o gerenciamento de risco na indústria farmacêutica.

Portanto, justificativas técnicas baseadas em riscos de processo podem direcionar tomadas de decisões fornecidas por técnicas de avaliação de risco sugeridas pela ISO 31010, como por exemplo, a FMEA, FMECA e o HAZOP, sendo esta última utilizada neste trabalho por conta da sua vasta aplicabilidade em processos industriais. Partindo desse princípio, o planejamento de qualificação de instrumentos, como sondas, pode ser auxiliado através da utilização das ferramentas de análise de risco. Além disso, estações de tratamento de efluentes são parte integrada dos processos produtivos farmacêuticos e devem receber atenção equivalente no que diz respeito às exigências para promover a segurança do meio ambiente e a saúde da população.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho foi estabelecer uma estratégia de plano de qualificação de instrumentos e sondas em uma estação de tratamento de efluente de indústria farmacêutica utilizando a ferramenta de análise de risco HAZOP (Estudo de Perigos e Operacionalidade), com a complementação de matriz de risco, tendo como base os requisitos de Biossegurança para enfrentar os padrões impostos as estações de tratamento.

2.2. Objetivos específicos

Em relação aos objetivos específicos, buscou-se neste trabalho:

- Identificar as exigências legais, que contenham aspectos relacionados ao campo de Biossegurança, que devem ser cumpridas pela indústria farmacêutica do estudo de caso;
- Avaliar o processo de trabalho do setor de produção da indústria produtora de kits de diagnósticos, biofármacos e de vacinas;
- Descrever o fluxo de produção de efluentes em cada processo da indústria farmacêutica;
- Identificar os principais problemas de saúde ambiental que possam acontecer devido a problemas de operacionalidade nas estações de tratamento de efluentes da indústria farmacêutica;
- Expandir o conceito de qualificação para estações de tratamentos de efluentes industriais em indústrias farmacêuticas.

3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 1 consiste em uma introdução em relação ao tema do trabalho, seguido pelo capítulo 2 onde são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos.

No capítulo 4 é feita a fundamentação teórica que mostra aspectos gerais dos temas que complementam o tema principal deste trabalho. Ou seja, é realizada a descrição geral de processos associados ao tratamento de efluentes aplicados na indústria farmacêutica, os impactos ambientais, a descrição de qualificação sob o ponto de vista da indústria farmacêutica e o papel da análise de risco e suas respectivas ferramentas. O capítulo 5 é destinado a descrição da metodologia utilizada para a realização do trabalho e o capítulo 6 destina-se aos resultados e discussões, incluindo a análise bibliográfica. Por fim, foi feita as considerações finais no capítulo 7, sendo o trabalho concluído no capítulo 8.

3.1. Delineamento do Estudo

O presente trabalho configurou-se como uma pesquisa descritiva (Estudo de Caso), com abordagem qualitativa. Quanto aos meios de investigação, foi feito em duas etapas de: (1) revisão bibliográfica, que possibilitou a construção de referencial teórico sobre assuntos que foram relacionados ao tema da pesquisa, assim como a pesquisa de natureza documental, cujas informações foram coletadas em periódicos especializados, artigos, dissertações e teses, sites de empresas, associações e órgãos governamentais, bem como seus relatórios anuais e demais materiais institucionais; e a (2) pesquisa de campo, com coleta de dados primários, por meio de entrevistas semiestruturadas, face-a-face e em profundidade.

A revisão bibliográfica foi feita para dar suporte para descrição dos principais impactos à saúde ambiental que poderiam ocorrer devido aos problemas de operacionalidade nas estações de tratamento de efluentes no decorrer da aplicação da ferramenta proposta. Em paralelo, pesquisas objetivando identificar exigências legais, no aspecto de biossegurança aplicadas à indústria farmacêutica foram realizadas em documentos do Ministério da Saúde, artigos científicos e manuais internos da indústria farmacêutica do estudo de caso em questão.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. Tipos de processos de produção da indústria farmacêutica

Alinhado a implementação de exigências mais rigorosas e novas diretrizes para os limites de descarte desses tipos de efluentes, é importante escolher as tecnologias de tratamento mais adequadas de acordo a natureza do efluente líquido a ser tratado, que está associado ao tipo de processo produtivo farmacêutico escolhido. Com esta finalidade, é importante definir os principais tipos de processos utilizados no setor farmacêutico que são: síntese química, síntese biológica e extração natural. A seguir é apresentado as principais características desses processos de acordo com Gadipelly *et. al* (2018):

- **Processo baseado em síntese química:** processo baseado na utilização de materiais orgânicos e inorgânicos para a produção, através de reações químicas, de intermediários ou produto com ação farmacológica definida. Além do processo de transformação química, o processo é constituído por etapas de separação como por exemplo: filtração, extração líquido-líquido, cristalização dentre outros. Essas etapas normalmente utilizam solventes orgânicos que necessitam ser descartados e tratados, assim como os fluidos de limpeza dos sistemas. Comparado aos processos com síntese biológica, este processo gera efluentes com alta DBO, DQO e SST, com pH na faixa de 1 a 11.

- **Processo baseado em síntese biológica:** este processo utiliza de microrganismos vivos e microrganismos geneticamente modificados (OGM) para a produção do produto farmacêutico, podendo ser biofármaco ou uma vacina. Geralmente o processo é constituído da preparação de meio, propagação celular, inoculação, biorreação e a recuperação do produto. Para realizar esses processos, operações prévias de limpeza e esterilização são executadas, gerando alto volume de efluente com resíduos. Para a etapa de biorreação, além do cultivo celular, é necessário meio de cultivo rico em nutrientes que é adicionado no biorreator que é previamente esterilizado com vapor puro. As etapas de recuperação de produto, normalmente denominadas de etapas de purificação, utilizam solventes de extração. Diferente da síntese química, os processos biológicos geram tanto efluentes de natureza química como biológica. Neste caso, os efluentes biológicos necessitam de tratamento prévio antes de serem enviados para o devido tratamento. Dessa forma, o

material biológico é inativado termicamente ou quimicamente e enviado para a estação de tratamento. Portanto, nesse tipo de rota há a geração de efluentes oriundos de meio reacional, limpeza de equipamentos e de resquícios de células mortas previamente inativadas com altos valores de DBO, DQO e SST.

- **Processo baseado em extração:** alguns IFA's são extraídos de fontes naturais como folhas de determinadas plantas, raízes e fontes biológicas como glândulas de animais. Esta rota necessita de grande quantidade de matéria prima para extrair pequenas quantidades do IFA através de operações como extração solido-liquido, moagem, filtração, precipitação dentre outros. Diferente das outras rotas, usualmente os efluentes possuem baixo DBO, DQO e SST.

Na Tabela 1 é apresentado as faixas de composição dos efluentes oriundos especificamente da síntese química e da síntese biológica de processos produtivos farmacêuticos. O conhecimento dessas informações é importante para a definição da técnica a ser utilizada para seu devido tratamento.

Tabela 1- Composição dos efluentes farmacêuticos de acordo com o processo. Adaptado de Gadipelly et. al, 2018.

	Efluente oriundo de Síntese química	Efluente oriundo de Síntese Biológica
Parâmetro	Faixa	
DQO(mg/L)	375-32500	180-12380
DBO₅(mg/L)	200-6000	25-6000
DBO₅/DQO	0,1-0,6	0,2-0,6
COT(mg/L)	860-4940	-
NTK(mg/L)	165-770	190-760
N-NH₃(mg/L)	148-363	-
N-NH₄⁺ (mg/L)	-	65,5-190
SDT(mg/L)	675-9320	1300-28000
pH	3,9-9,2	3,3-11

SST (mg/L)	-	57-7130
Condutividade (uS/cm)	-	1600-44850
Cl- (mg/L)	760-4200	182-2800
SO4-2(mg/L)	890-1500	160-9000

4.2. A saúde ambiental e tecnologias para o tratamento de efluentes industriais farmacêuticos

4.2.1. A indústria farmacêutica e a saúde ambiental

Como a indústria farmacêutica é um setor que vem crescendo com o decorrer dos anos, a preocupação em relação ao tratamento de seus efluentes líquidos também acompanha esse crescimento. Principalmente por causa do pouco conhecimento que se tem sobre os impactos de concentrações de IFA ao meio ambiente, que apesar de encontradas em baixas concentrações no corpo hídrico, na ordem de $\mu\text{g/L}$ ou ng/L , oferecem risco a flora e fauna. Tanto em países desenvolvidos quanto em países emergentes no setor produtivo farmacêutico, como por exemplo China, Índia, Paquistão e Bangladesh, que representam mais de 40 % da população global, ocorrem o despejo de efluentes industriais farmacêuticos não tratados (REHMAN *et.al.*, 2015).

Segundo Kessler (2010), a indústria farmacêutica é responsável pela geração de concentrações de princípios ativos ao meio ambiente superiores ao gerado pelo consumo dos medicamentos. Assim como algumas substâncias proveniente do uso e da indústria de cosméticos, os princípios ativos também fazem parte dos denominados contaminantes emergentes (CE). A Figura 1 mostra esquema das principais rotas da geração desses contaminantes.



Figura 1- Possíveis rotas da geração de substâncias contaminantes emergentes. Fonte: Adaptado de Gonzáles , 2022.

Assim como a excreção por conta do uso de medicamentos pelo ser humano e os efluentes gerados em hospitais, a indústria farmacêutica tem grande participação na geração de contaminantes emergentes. De acordo com a rota mostrada na Figura 1, é possível observar o papel fundamental que as estações de tratamento de efluente desempenham. Percebe-se que a falha no tratamento pode acarretar o despejo dessas substâncias ao meio ambiente, gerando consequências à saúde do meio ambiente e ao ser humano, mesmo que em pequenas concentrações (YAN *et.al*, 2014). O descarte de efluentes, sejam eles líquidos ou sólidos, na indústria farmacêutica é diretamente ligado aos requisitos de biossegurança, que será discutida a seguir.



4.2.1.1. A biossegurança



Conforme citado anteriormente, os processos produtivos farmacêuticos podem utilizar OGM, dessa forma seus processos estão regulamentados pela lei 11.105/2005 de Lei de Biossegurança, que além de estabelecer normas de segurança e mecanismos de construção, cultivo, produção, manipulação, transporte, transferência, importação, exportação, armazenamento, pesquisa, comercialização e consumo, também estabelece normas para o descarte de OGM e seus derivados no meio ambiente. Em termos das diretrizes que devem ser seguidas para realização de atividades que envolvem OGM, a lei 11.105

criou o Conselho Nacional de Biossegurança (CNBS), que reestruturou a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), que é uma instância colegiada multidisciplinar ligada ao Ministério da Saúde (MS). O CTNBio, por obrigação, estabelece as normas técnicas de segurança e pareceres técnicos. Adicionalmente, a lei 11.105 implementou a Política Nacional de Biossegurança (PNB).

Desse modo, já reestruturada, a CTNBio em 2006 criou a Resolução Normativa nº 1 de 2006, que estabeleceu a instalação e funcionamento das atuais Comissões Internas de Biossegurança (CIBios), assim como os critérios e procedimentos para o requerimento, emissão, revisão, extensão, suspensão e cancelamento do Certificado de Qualidade em Biossegurança (CQB). Logo depois foi criada a Resolução Normativa nº 18, que estabeleceu as classificações de riscos de OGM e os níveis de biossegurança que são aplicados em suas atividades. A seguir, na Tabela 2, é mostrado as classes de risco dos agentes biológicos, tanto convencional como geneticamente modificados, e os níveis de biossegurança e de contenção laboratorial, assim como os procedimentos necessários para a realização das atividades.

Tabela 2 - Classificação de risco de agentes biológicos e níveis de biossegurança

Classe de risco biológico do agente	Características	Risco individual	Risco coletivo	Profilaxia	Níveis de Biossegurança	Procedimentos necessários
Classe 1	Inclui os agentes biológicos não incluídos nas classes de risco 2, 3 e 4, conhecidos por não causarem doenças no homem ou nos animais adultos sadios (*). Exemplos: <i>Lactobacillus sp.</i> e <i>Bacillus subtilis</i> .	Baixo	Baixo	Existente	 NB-1	Exige procedimentos adequados para realizar as atividades com microrganismos de classe de risco 1, que normalmente não causam doenças para os seres humanos e animais.
Classe 2	Inclui os agentes biológicos que provocam infecções no homem ou nos animais, cujo potencial de propagação na comunidade e de disseminação no meio ambiente é limitado, e para os quais existem medidas terapêuticas e profiláticas eficazes. Exemplos: <i>Schistosoma mansoni</i> e Vírus da Rubéola.	Moderado	Baixo	Existente	 NB-2	Exige procedimentos para exercer atividades com microrganismo de classe de risco 2, que são capazes de causar doenças em seres humanos e animais, sem apresentar risco grave aos trabalhadores, comunidade ou ambiente. Enquadram-se os agentes não transmissíveis pelo ar, para os quais há

						tratamento efetivo e medidas preventivas disponíveis. O risco de contaminação e pequeno.
Classe 3	Inclui os agentes biológicos que possuem capacidade de transmissão por via respiratória e que causam patologias humanas ou animais, potencialmente letais, para as quais existem usualmente medidas de tratamento e/ou de prevenção. Representam risco se disseminados na comunidade e no meio ambiente, podendo se propagar de pessoa a pessoa. Exemplos: <i>Bacillus anthracis</i> e <i>Yersinia pestis</i> .	Elevado	Moderado	Usualmente Existente	 NB-3	Requer procedimentos para o trabalho com microrganismos (classe de risco 3) que geralmente causam doenças em seres humanos ou em animais e que podem representar um risco se disseminados na comunidade, mas que para os quais usualmente existem medidas de tratamento e prevenção. Exige trabalho em contenção para impedir a transmissão pelo ar.
Classe 4	Inclui os agentes biológicos com grande poder de transmissibilidade por via respiratória ou de transmissão desconhecida. Até o momento não há nenhuma medida profilática ou terapêutica eficaz contra infecções ocasionadas por estes. Causam doenças humanas e animais de alta gravidade, com alta capacidade de disseminação na comunidade e no meio ambiente. Esta classe inclui principalmente os vírus. Exemplos: Vírus Ebola e Vírus da varíola.	Alto	Alto	Inexistente	 NB-4	Requer procedimentos para o trabalho com microrganismos (classe de risco 4) que causam doenças graves ou letais para seres humanos e animais, com fácil transmissão por contato individual casual e para os quais não existem medidas preventivas e de tratamento.

As atividades realizadas pelos operadores nos processos produtivos na indústria farmacêutica do estudo de caso são executadas em consonância com as Boas Práticas de Fabricação, assim como as práticas que assegurem a biossegurança. Como alguns processos realizados utilizam agentes biológicos, as práticas e requisitos para exercer a biossegurança citadas na Tabela 2 em

seus processos é de suma importância.

Sob o ponto de vista dos resíduos gerados, as medidas de biossegurança devem garantir a descontaminação dos resíduos sólidos e líquidos. Para isso, a indústria farmacêutica deve seguir os critérios estabelecidos na RDC 222 de 2018, que regulamenta as boas práticas de gerenciamento dos resíduos de serviço de saúde. A RDC 222/2018, classificou os Resíduos dos Serviços de Saúde em 5 grupos, conforme Figura 2.

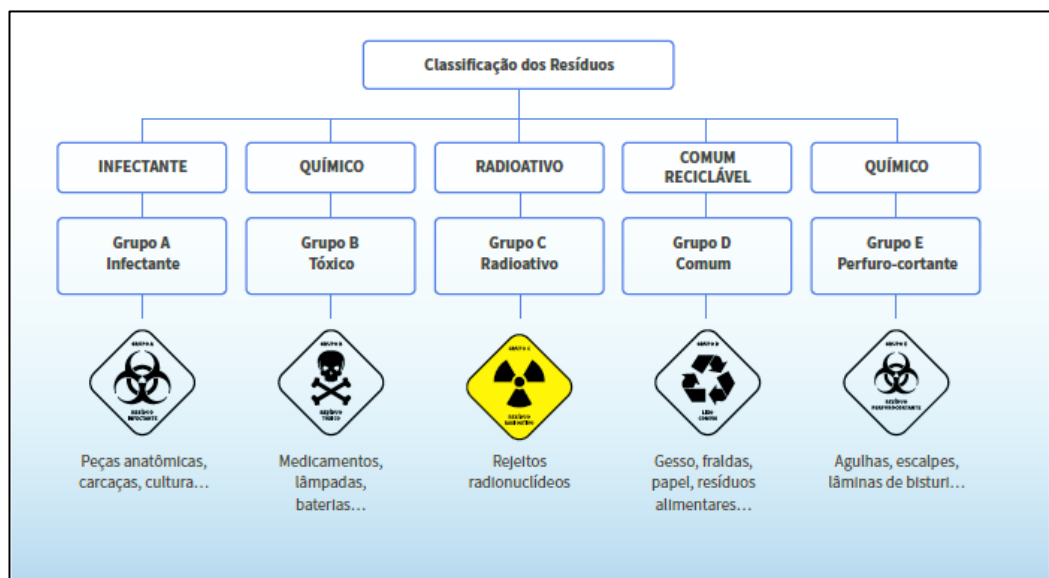


Figura 2 - Classificação dos Resíduos dos Serviços de Saúde. Fonte: Adaptado de RDC 222, 2018.

O conhecimento da classificação dos resíduos segundo a RDC 222/2018 é importante para a indústria farmacêutica para o manejo de resíduos, segregação, armazenamento, acondicionamento, transporte interno e externo e coleta, e disposição e destinação final ambientalmente adequada.

De acordo com os processos produtivos existentes na indústria do estudo de caso, especificamente para os resíduos líquidos, os resíduos do grupo A, grupo B e E são os mais comuns na instituição. Para esses grupos, a RDC 222/2018 estabelece que os meios de cultura e estoques de microrganismos devem ser submetidos a tratamento prévio de redução ou eliminação de carga microbiana, tanto em escala laboratorial quanto em escala industrial. Além disso, materiais com algum tipo de contaminação devem ser descontaminado em recipientes rígidos e à prova de vazamentos antes de serem autoclavados. As características das áreas utilizadas em relação as instalações, EPC e EPI nos processos industriais farmacêuticos são mostradas na Tabela 3, de acordo com

os níveis de biossegurança.

Tabela 3 - Características das instalações de acordo com o nível de biossegurança

Nível de Biossegurança	NB-1	NB-2	NB-3	NB-4
Exemplo de microrganismos relacionados	<i>Escherichia coli</i>	Dengue vírus 1 a 4, Zika vírus, amostras contaminadas com HIV, <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Trypanosoma cruzi</i> , <i>Leishmania spp</i>	SARS, Vírus da Imunodeficiência Humana (HIV), <i>Mycobacterium tuberculosis</i> , <i>Yersinia pestis</i> , <i>Bacillus anthracis</i>	Todos os Ebolavírus, vírus Marburg, Vírus da varíola
Instalações	Pia para lavagem de mãos	Contenção Antecâmara	Alta contenção Pressão negativa Antecâmara pressurizada com sistema de dupla porta e intertravamento Tratamento dos efluentes	Alta contenção Pressão negativa Antecâmara pressurizada com sistema de dupla porta e intertravamento Tratamento dos efluentes
EPCs/EPIs	Luvas e jalecos Autoclave no edifício	Cabine de segurança biológica de Classe I ou II Autoclave no andar	Cabine de segurança biológica de Classe II A2 Autoclave de dupla porta Passthrough Vestimenta especial	Cabine de segurança de Classe III Roupas com pressão positiva Autoclave dupla porta Chuveiro Passthrough

De acordo com Hambleton *et.al.* (1994), sob o ponto de vista da biossegurança, os principais métodos para o tratamento de efluentes líquidos contaminado com microrganismo de forma segura antes de serem enviados para as estações de tratamento são três: filtração esterilizante, desinfecção química e tratamento térmico. A primeira opção é comumente utilizada em escala laboratorial para remoção de contaminantes de efluentes líquidos e gasosos. Em escala industrial o uso de filtração esterilizante com esta finalidade é impraticável, pois apresenta alto custo e os filtros precisam ser descontaminados após uso.

O tratamento com agente químico normalmente se torna uma boa alternativa principalmente pelo baixo custo. Um exemplo de agente químico que

geralmente é utilizado é o formaldeído, devido a sua natureza não corrosiva e atividade esporicida. Combinado com tratamento térmico, o uso de agente químico tem alta letalidade para os microrganismos. Apesar disso, deve-se levar em consideração os perigos de seu uso para os operadores e meio ambiente. Adicionalmente, alguns agentes químicos utilizados, como a soda cáustica, necessitam de pré-tratamento antes de serem enviados para a estação de tratamento, como por exemplo, o ajuste do pH.

O tratamento térmico é a técnica mais utilizada para a inativação de agentes microbiológicos. Em termos de custos gerais, o tratamento térmico é considerado um dos processos mais eficientes para a inativação. Uma vantagem que a técnica apresenta é o fácil monitoramento, pois está associada a um parâmetro de processo que é a temperatura, e por minimizar impactos negativos ao meio ambiente (HAMBLETON, 1994). Geralmente a temperatura utilizada é 121°C por 30 minutos para garantir a redução de agentes microbiológicos em mais de 90%.

Dessa maneira, a indústria farmacêutica deve estar sempre de acordo com os requisitos de biossegurança para seus sistemas, assim como adequado tratamento e descarte de seus efluentes, sejam eles sólidos ou líquidos. Principalmente os efluentes que envolvem OGM, objetivando evitar efeitos adversos à saúde humana, aos animais e ao meio ambiente. Atrelado a inativação dos organismos vivos, a remoção inadequada das substâncias geradas nos processos produtivos pode desencadear a resistência de bactérias por conta da contaminação de antibióticos, aparecimento de reações alérgicas no ser humano, disfunção do sistema endócrino em animais, a bioacumulação em peixes e a toxicidade de alimentos (GONZÁLES *et.al.*, 2022). Os principais impactos à saúde do meio ambiente devido ao tratamento inadequado dos efluentes industriais farmacêuticos são discutidos a seguir.

4.2.1.2. Impacto no ecossistema aquático

A geração do efluente líquido, após ser devidamente tratado, são descartados em corpos receptores como rios, lagos e o mar. Por conta disso, a ineficiência no tratamento dos efluentes industriais farmacêuticos gera impactos negativos ao ecossistema aquático podendo acarretar a bioacumulação dos

princípios ativos em peixes e outros animais que pode resultar em toxicidade aguda ou crônica (MARTINEZ, *et.al.*, 2013). Os efeitos mais comuns relatados em estudos estão associados a distúrbios neurológicos, reprodutivos, de crescimento e impactos metabólicos em animais aquáticos (LOPES, *et.al.*, 2020).

Os diversos impactos nos animais aquáticos estão relacionados ao tipo de contaminantes farmacêutico. Estudos mostram, por exemplo, impactos em peixes e jacarés expostos a estrogênios sintéticos ocasionando a feminização das espécies, além do impacto do diclofenaco em abutres (GUPTA *et.al.*, 2018). Outra classe de fármacos que apresenta risco à saúde do ecossistema aquático são os antidepressivos. De acordo com o tempo e concentração exposta, acarreta a disfunção da atividade locomotora dos peixes, como por exemplo os Fluoxetina e Venlafaxina, considerados os antidepressivos que oferecem mais risco ao ecossistema aquático (HONG *et.al.*, 2021). Isso se deve principalmente ao potencial desses componentes em gerar consequências como a mortalidade dos animais, como por exemplo a Fluoxetina na concentração de 0,1 µg/L que impactou na morte de crustáceos relatado no trabalho de Minguez *et.al.* (2016). Além de afetar os animais aquáticos, o contaminante pode ser transferido através da alimentação de presas. Segundo Brodin *et.al.* (2014), há evidências que de acordo com os níveis de concentração e exposição à substâncias psicoativas a espécie de inseto *Coenagrion hastulatum* pode transferir mais de 46% dos poluentes para seu predador após certa quantidade de bioacumulação.

Junto com paracetamol, naproxeno e ibuprofeno, o diclofenaco é considerado um dos analgésicos com mais evidências de consequências tóxicas ao ecossistema aquático. Exemplo desses impactos são mostrados em estudo conduzido por Schwaiger *et.al.* (2004) em que mostra a mudança nas brânquias e pequenas lesões em trutas-arco-iris expostas à concentração de 5 g/L de diclofenaco. Em relação ao ibuprofeno, Minguez *et.al.* (2016) mostrou em seu trabalho alterações no DNA de algas quando submetidas em concentrações na faixa de 92 a 920 µg/L de ibuprofeno.

4.2.1.3. Impacto no solo e plantas

Além dos impactos aos corpos receptores, como rios e lagos, os

compostos farmacêuticos podem gerar impactos no solo, nas plantas e nos animais que vivem nesse ecossistema. Uma fonte de contaminação do solo e das plantas é a atividade de reaproveitamento do efluente líquido da indústria farmacêutica para atividade de irrigação. Apesar de ser uma alternativa sustentável, tem-se a preocupação em relação aos impactos negativos que podem oferecer ao meio ambiente.

Por conta de propriedades físico-químicas das moléculas que compõem um IFA, elas podem se deslocar do solo através das raízes das plantas para as folhas e frutos (BEM MORDECHAY *et.al*, 2018). Como por exemplo, no trabalho de Chuang *et.al.* (2019), que identificou a migração de moléculas de baixo peso molecular (< 300 g/mol) que compõem o IFA, das raízes para as folhas de alface. Além disso, o autor demonstrou que moléculas com peso molecular acima de 400 g/mol, possuíam alta afinidade com as raízes, ficando assim acumuladas nas raízes. Neste mesmo racional, outra pesquisa realizada por Akenga *et.al.* (2021) conseguiu mostrar o comportamento da alface frente às substâncias farmacêuticas antirretrovirais e antivirais. Neste estudo a água de irrigação utilizada foi proveniente do reaproveitamento do tratamento de efluentes farmacêuticos, sendo identificado a acumulação entre 697 e 3463 ng/g dos IFA testados. Resultado adicional encontrado foi que em concentração acima de 100 µg/L de IFA antirretroviral em águas de irrigação foi constatada a redução de 36% de biomassa nas raízes e folhas, indicando fitotoxicidade.

Estudos mostram que há o indicativo de que moléculas de baixo peso molecular apresentam maior facilidade de translocação das raízes para as outras partes da planta. Sabe-se também que a carga iônica da molécula também influencia nesse fenômeno. Os trabalhos de Li *et.al* (2019) e Wu & Bi (2019), mostram que IFA carregados negativamente oferecem mais facilidade de translocação quando comparados a moléculas carregadas positivamente.

Além da contaminação das folhas e frutos, que acabam oferecendo risco à saúde dos animais que se alimentam deles, estudos mostram impacto no crescimento e na produtividade das plantas. Yakubu (2017), identificou danos no crescimento e produtividade de plantas de soja em contato com metronidazol (Flagyl), que é indicado para o tratamento de giardíase. No estudo o autor conseguiu identificar impactos na diminuição da taxa de crescimento da planta.

Percebe-se a capacidade que essas substâncias possuem em impactar negativamente o agro ecossistema. Ter o conhecimento desses impactos é muito importante para evitar que seres humanos e animais sejam contaminados através do consumo de vegetais e frutas contaminadas com substâncias nocivas à sua saúde. A indústria farmacêutica deve estar atenta em relação a esses impactos, pois conforme citado anteriormente, é uma das principais fontes de aparecimento de contaminantes emergentes por conta do tratamento ineficiente de seus efluentes industriais.

4.2.2. Tecnologias de tratamento de efluente

Conforme a caracterização da natureza do efluente farmacêutico e de acordo a rota de processo utilizada, o passo seguinte é a escolha da técnica que mais se adequa às suas características.

Na Tabela 4 serão apresentadas as principais técnicas que podem ser utilizadas para o tratamento de efluentes industriais farmacêuticos, assim como as suas subcategorias.

Tabela 4 - Técnicas de tratamento de efluente e suas subcategorias

Técnicas	Subcategorias
<i>Tratamento biológico</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tratamento Aeróbio 2. Tratamento Anaeróbio
<i>Tratamento avançado</i>	<ol style="list-style-type: none"> 3. Tecnologia de membranas 4. Carbone ativado 5. Destilação por membrana
<i>Processo de oxidação avançada</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tratamento com peróxido de hidrogênio/ozonização 2. Oxidação por Fenton 3. Fotocatálise 4. Oxidação Eletroquímica 5. Irradiação por Ultrassom 6. Oxidação com ar úmido

Baseado na tabela anterior, a seguir será apresentado breve resumo das tecnologias mais utilizadas no tratamento de efluentes industriais farmacêuticos de acordo com GADIPELLY *et.al* (2014) e AHMED *et.al.* (2016).

4.2.2.1. Tratamento Biológico

O tratamento biológico é utilizado para o tratamento de efluentes com significativa fração de substâncias biodegradáveis dissolvidas. Pode-se dizer que o tratamento biológico converte compostos orgânicos biodegradáveis em gases, sólidos inorgânicos e material biológico sedimentável (WEF, 2008). Para o tratamento de efluentes industriais farmacêuticos baseado em tratamento biológico, pode-se utilizar tanto o tratamento aeróbio quanto o anaeróbio.

4.2.2.1.1. Tratamento aeróbio

O tratamento aeróbio é baseado na respiração aeróbica dos microrganismos. A respiração aeróbica é baseada na presença de um doador de elétrons (matéria orgânica) e de receptores de elétrons (oxigênio), sendo os compostos orgânicos oxidados a dióxido de carbono com alto crescimento microbiológico, que se caracteriza com o alta produção de biomassa ou lodo biológico (DEZOTTI, 2008).

4.2.2.1.1.1. Lodo Ativado

O tratamento conhecido por lodo ativado é um dos principais processos que são implementados para o tratamento de efluentes industriais farmacêuticos. Isso se deve ao seu baixo custo e alta eficiência na remoção de matéria orgânica. Seu nome se deve a massa microbiana formada em flocos quando são submetidos a aeração, que pode ser proveniente de aeração mecânica, por ar comprimido e por oxigênio puro.

A Figura 3 mostra o esquema de um processo de lodo ativado.

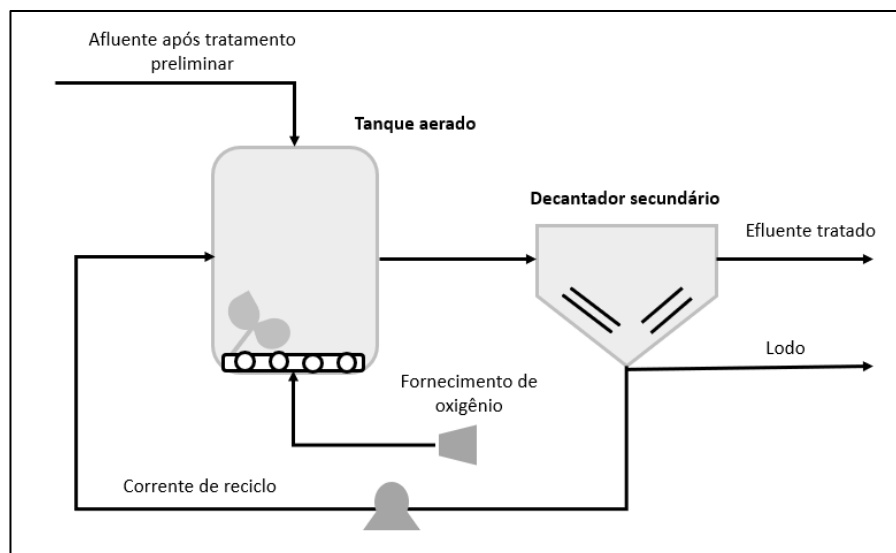


Figura 3- Esquema de processo de lodo ativado, composto de bomba de recirculação, tanque aerado e decantador secundário. Fonte: elaboração própria, 2022

De uma forma geral, o sistema de lodo ativado é composto basicamente por um tanque de aeração, um decantador secundário e um sistema de reciclo, conforme mostrado na Figura 3.

O tanque de aeração é onde o aglomerado microbiano sob aeração contínua promove a degradação da matéria orgânica presente no efluente. Neste sistema a aeração é muito importante para permitir a homogeneização do efluente, evitando zonas mortas, e para permitir a distribuição das bolhas favorecendo a transferência de oxigênio. Já no decantador secundário ocorre a operação unitária de separação líquido sólido, onde o lodo é sedimentado e o clarificado é descartado no corpo receptor ou enviado para tratamento subsequente caso necessário (SUSTARSIC, 2009). O sistema de recirculação é constituído por uma bomba responsável pelo reciclo de parte do lodo sedimentado no decantador secundário para a manutenção da alta concentração de microrganismo no tanque de aeração. Como a formação de lodo é contínua, o excesso é removido para posterior tratamento. Alguns exemplos de fármacos que podem ser citados com alta degradação utilizando a tecnologia de lodo ativado são Ibuprofeno, naproxeno, bezafibrato e etinilestradiol (DEEGAN *et.al*, 2011).

4.2.2.1.1.2. Reator batelada sequencial (RBS)

Pode-se dizer que o processo de tratamento em reatores de batelada sequencial é uma vertente do lodo ativado, podendo também ser utilizado para

lodo granular. Como o nome sugere, as etapas do tratamento são feitas em bateladas, ou seja, em processo de modo descontínuo. Além disso, todas as etapas do processo são incorporadas no mesmo reator. Outra característica importante é a manutenção do lodo no reator, o que evita a necessidade de decantadores secundários e a recirculação do lodo.

De acordo com Von Sperling (2012), o reator em batelada possui cinco ciclos principais: enchimento, reação, sedimentação, esvaziamento e repouso. Desse ressaltar que apesar das vantagens, o sistema possui a desvantagem de descartar o efluente tratado de forma pontual, o que pode gerar impacto no corpo receptor com grandes variações de carga.

4.2.2.1.1.3. Biorreator com filme integrado com lodo ativado

Este processo também é denominado de *Integrated Fixed Film Activated Sludge* (IFAS). O sistema é uma adaptação da tecnologia de lodo ativado, em que há a incorporação de suportes móveis que são adicionados no reator para promover a área disponível para formação de biofilme, que favorece o crescimento microbológico e conseqüentemente o aumento das taxas de degradação. Desse modo, o sistema é constituído de populações microbológicas suspensas quanto fixa nos suportes (KIM *et.al*, 2009). Altamirano *et.al* (2021), utilizou em escala piloto um sistema com biorreator com filme integrado com lodo ativado em diferentes configurações para avaliação do tratamento de 27 compostos farmacêuticos, obtendo resultados promissores para a utilização da tecnologia.

4.2.2.1.2. Tratamento anaeróbio

Diferente do tratamento aeróbio, nesta tecnologia a degradação da matéria orgânica ocorre por via anaeróbia. Neste tipo de tratamento tanto bactérias facultativas quanto estritamente anaeróbias, assim como as arqueas, degradam compostos orgânicos complexos que desencadeia diversos processos oxidativos sequenciais que convertem a matéria orgânica em metano, dióxido de carbono e outros subprodutos mineralizados (DEZOTTI, 2008). O tratamento anaeróbio possui a vantagem de degradar a matéria orgânica com baixo consumo de energia e insumos, além de produzir menos lodo e ser uma operação com menos custos (GADIPELLY *et.al.*, 2014). Entretanto, também

apresenta desvantagens como a geração de compostos com odores desagradáveis, como H_2S , tempo elevado para partida do sistema e menos tolerância a compostos tóxicos.

4.2.2.1.2.1. Reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB)

O reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo consiste em um tanque onde o efluente entra pelo fundo e através do seu fluxo ascendente passa por uma camada de lodo biológico situado na parte inferior passando posteriormente por um separador de fase até a superfície (ARUNDEL, 2000). O reator é constituído com um leito de lodo (*sludge bed*), manta de lodo (*sludge blanket*) e um separador trifásico (*gas solid separator*), conforme Figura 4.

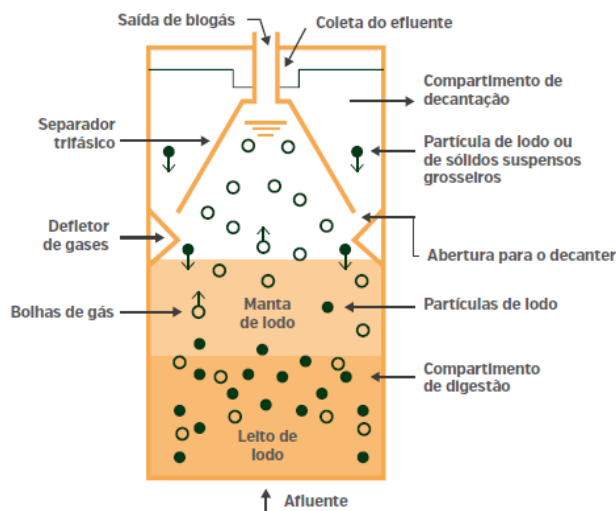


Figura 4- Esquema das zonas de um reator UASB. Fonte: PROBIOGAS, 2015.

Chen *et.al.* (2011), utilizou como pré-tratamento um reator UASB para o tratamento de efluente farmacêutico que continha antibióticos como ácido 6-aminopenicilânico (6-APA) e amoxicilina com carga orgânica elevada entre 12,6 e 21,0 kg DBO/m³. Os resultados mostraram eficiência de remoção de 91% de 6-APA e de 87% para amoxicilina. Chellipan & Sallis (2012) utilizaram a mesma tecnologia para a remoção de 95% da concentração de tilosina de um efluente farmacêutico inicialmente nas concentrações entre 10 e 220 mg/L.

4.2.2.1.2.2. Reator anaeróbio de batelada sequencial

O racional de funcionamento é o mesmo aplicado para os reatores

aeróbios de batelada sequencial. A diferença é a não utilização de aeração, ou seja, sem a presença de oxigênio. Adicionalmente, o processo é realizado em ambientes com pouca ou nenhuma luz. De acordo com SHI *et.al* (2017), o reator é responsável por quatro operações: enchimento, reação, sedimentação e retirada de sobrenadante.

4.2.2.2. Tratamentos Avançados

4.2.2.2.1. Biorreatores de membrana (MBR)

A tecnologia de biorreatores de membrana (MBR) tem recebido muita atenção como um método efetivo para o tratamento de efluentes industriais farmacêuticos. Isso se deve por ser uma alternativa com viabilidade econômica satisfatória, pois permite tempo de retenção hidráulica e possui baixo *footprint* (Beygmohammdi *et.al*, 2020). Por conta disso, a tecnologia possibilita alta concentração de biomassa que aumenta consequentemente a capacidade de degradação de matéria orgânica. Outra vantagem associada a tecnologia é a ação da membrana que filtra partículas com diâmetro maior que a do poro da membrana, o que retém os sólidos suspensos.

Como exemplo de aplicação, Noble (2006) utilizou a tecnologia para o tratamento do efluente de um processo farmacêutico com 4000 mg/L de DQO, obtendo mais que 90% de remoção de DQO e 98% de DBO. Exemplo da característica e tamanho das membranas utilizadas é mostrado na Figura 5.

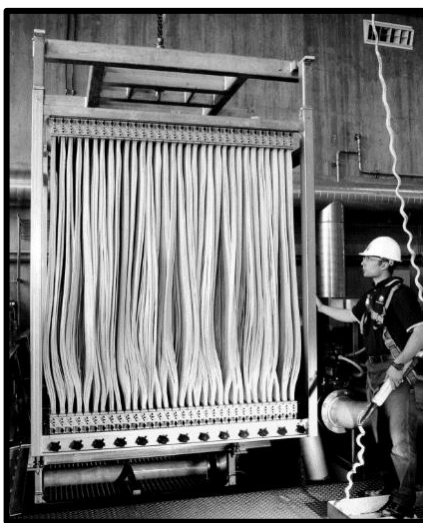


Figura 5 - Exemplo de cassete de membrana. Fonte: Noble, 2006

Apesar das vantagens, a tecnologia também apresenta a desvantagem

de ser mais suscetível ao surgimento de incrustações, que gera resistência hidráulica e diminui a capacidade de permeabilidade das membranas, assim como seu ciclo de vida (Chen *et al.*, 2012).

4.2.2.2.2. Destilação por Membrana

A destilação por membrana é mais uma alternativa que pode ser implementada no tratamento de efluentes farmacêuticos. A tecnologia geralmente é utilizada para a geração de água desmineralizada e recuperação de água de processo. Uma das vantagens é a economia de energia, pois o processo permite a utilização do calor gerado pelos próprios processos industriais na destilação. Assim como os reatores de membrana, a destilação também tem a desvantagem da geração de incrustações (GADIPELLY *et. al.*, 2014).

Pesquisa realizada por Couto *et.al.* (2020) removeu 99% de betametasona e fluconazol de um efluente de um rio utilizando destilação de membrana, apresentando resultados mais satisfatórios do que outras tecnologias como osmose inversa e nanofiltração. Adicionalmente, o estudo mostrou que entre as tecnologias utilizadas no trabalho a destilação por membrana foi a única que não apresentou problemas de incrustações (COUTO *et.al.*, 2020).

4.2.2.2.3. Nanofiltração

A nanofiltração vem sendo bastante aplicada na indústria farmacêutica e alimentícia por conta de vantagens relacionadas à parâmetros importantes como baixa pressão de operação, baixo investimento e custos fixos, alto fluxo de permeado e elevada retenção de sais multivalentes (MALLAKPOUR & AZADI, 2021).

Estudo de Maryan *et.al.* (2020), utilizou nanofiltração através de membranas de poliétersulfonas para remoção de 99,7% de diclofenaco e 80,5% de remoção de ibuprofeno de um efluente farmacêutico. Trabalho similar de Ouyang *et.al.* (2019), obteve resultados de rejeição de ibuprofeno de 89,8%, assim como 87,3% de carbamazepina.

4.2.2.2.4. Osmose Inversa

A tecnologia de osmose inversa é um fenômeno natural onde a pressão osmótica permite o fluxo da água do meio diluído para o meio mais concentrado através de uma membrana semipermeável. Alinhado a este fenômeno, a tecnologia vem bastante utilizada por contra alta rejeição a sais e alto fluxo de água, assim como faixas amplas de temperatura de operação e pH (LI *et.al.*, 2016).

Estudo realizado por Liu *et.al.* (2022), utilizou a tecnologia de osmose inversa para o tratamento de efluente farmacêutica de uma empresa chinesa com 85,4 mg/L de COT. Como resultado, o autor conseguiu reduzir o COT para 0,768 mg/L, apresentando eficiente de purificação acima de 99,5%.

4.2.2.2.5. Carvão ativado

O fenômeno utilizado para a remoção de poluentes pela técnica de carvão ativado é a adsorção. A tecnologia possui a vantagem de não gerar subprodutos, como toxinas, e do adsorvente ser um material de fácil acesso, mas tem a dificuldade da regeneração e separação do efluente tratado quando utilizado em pó, o que impacta na necessidade de uma etapa de posterior de separação (WESTERHOFF *et.al.*, 2007). A tecnologia permite utilizar tanto o carvão ativado em pó, quanto ele em formato granular. A técnica vem sendo utilizada como uma alternativa para o pré-tratamento em plantas de tratamento de efluente.

Exemplo de aplicação é o trabalho realizado por Delgado *et.al.* (2019), que utilizou carvão ativado em pó para a remoção de poluentes emergentes farmacêuticos como carbamazepina (CBZ) e sildenafil (SIL), obtendo remoção de mais de 90 % da concentração dos poluentes, mostrando que a tecnologia é promissora para remoção dessas substâncias.

4.2.2.3. Processos oxidativos avançados

Embora as técnicas convencionais sejam bastante difundidas e utilizadas para o tratamento de fármacos, algumas substâncias têm baixa biodegradabilidade, o que dificulta a implementação dessas tecnologias. Nestes casos, uma alternativa é a aplicação dos processos oxidativos avançados (POA) que consiste na geração de radicais hidroxila, que são espécies muito reativas,

que favorecem a oxidação dos compostos orgânicos sem a seletividade durante a degradação. Dependendo da natureza do efluente, o processo oxidativo pode ser implementado sozinho ou em conjunto com outra tecnologia de natureza físico-química ou biológica (GADIPELLY *et. al.*, 2014).

Os sistemas de processo oxidativo avançado podem ser classificados como homogêneos ou heterogêneos, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Classificação dos processos oxidativos avançados. Fonte: Adaptado de Aziz *et.al.*, 2019.

Sistemas	Principal Oxidante	Tipos
Homogêneos	O ₃	O ₃ /Alto pH; O ₃ /H ₂ O ₂ ; O ₃ /UV; O ₃ /H ₂ O ₂ /UV
	H ₂ O ₂	H ₂ O ₂ /UV; H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ ; H ₂ O ₂ /Fe ³⁺ ; H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ /UV; H ₂ O ₂ /Fe ³⁺ /UV; H ₂ O ₂ /Fe ⁺³ Oxalato
Heterogêneos	O ₃	O ₃ / Catalisador sólido
	H ₂ O ₂	H ₂ O ₂ / Oxido de Ferro
	-	UV/TiO ₂ ; UV/TiO ₂ /O ₂ ; UV/TiO ₂ /H ₂ O ₂ ; UV/Oxido de metais

O que difere um sistema homogêneo do heterogêneo é que a reação ocorre em apenas uma fase, enquanto nos sistemas heterogêneos as reações ocorrem em mais de uma fase e apresentam catalisadores sólidos.

4.2.2.3.1. Tratamento com O₃/H₂O₂

O ozônio é um agente oxidante com alto potencial de oxidação e geração de radicais hidroxila que pode atuar tanto em mecanismos diretos quanto indiretos para a degradação dos compostos. O tratamento com a utilização do ozônio se torna uma alternativa para a degradação de compostos recalcitrantes, ou seja, aqueles que oferecem resistência frente à degradação biológica (MORAVIA *et.al.*, 2013). Pode-se citar as substâncias como tolueno, fenóis, nitrofenóis dentre outros.

A tecnologia vem sendo estudada e implementada no tratamento de efluentes farmacêuticos. Estudos mostram resultados satisfatórios para o tratamento de penicilina utilizando ozônio (ARSLAN ALATON & DOGRUEL, 2004). Trabalho realizado com Faria *et.al.* (2020), utilizou a ozonização integrado a reator anaeróbio empacotado lodo granular expandido para o tratamento de 7 compostos farmacêuticos com eficiência de remoção acima de 90%. Além disso, a tecnologia vem sendo utilizada para o tratamento de diversos antibióticos (HELMIG *et.al.*, 2005).

Apesar de oferecer bons resultados, a ozonização vem sendo combinada com peróxido, pois, compostos como amidas oferecem resistência ao ozônio, limitando a utilização da tecnologia. Desse modo, a combinação com o peróxido apresenta por exemplo resultados mais satisfatórios para a remoção de penicilina em efluentes industriais. Sabe-se que com a utilização do peróxido combinado com o ozônio gera a formação de radicais hidroxila com mais velocidade, o que gera a degradação dos compostos com mais rapidez (BALCIOGLU & OTKER, 2003).

O processo com utilização de peróxido também pode ser utilizado sob irradiação de luz UV, que gera dois radicais hidroxila por uma molécula de peróxido (AZIZ & AMR, 2019). Entretanto, deve-se enfatizar que o processo é limitado por conta da turbidez que os efluentes podem ter, ocorrendo a degradação fotolítica apenas na superfície. Além disso, a fotólise é dependente do pH, visto que é favorecida em pH alcalino (MELO *et al.*, 2009).

4.2.2.3.2. Tratamento por oxidação de Fenton

O processo Fenton é considerado um dos processos oxidativos avançados com mais eficiência e baixo custo de capital, principalmente porque o material utilizado no processo é um elemento abundante no mundo, que é o ferro. O processo consiste na mistura de peróxido de hidrogênio com sais de ferro para a geração de radicais hidroxila sob temperatura ambiente, onde o ferro age como catalisador da reação.

A tecnologia foi utilizada por Arslan & Dogruel (2004) para a remoção completa de penicilina em 40 minutos, utilizando Fenton/UV. De forma semelhante, Badawy & Wahaab (2009) utilizaram Fenton e obtiveram remoção

de 90% de DQO de um efluente contendo paracetamol e cloranfenicol com aproximadamente 12000 mg/L de DQO.

Apesar da alta eficiência e baixo custo associado aos insumos, a tecnologia é sensível a variações de pH, pois acima de pH 3 ocorre a formação de íons de Fe^{+3} que gera precipitação de hidróxidos e aumento da produção de lodo. Em pH abaixo de 2,5 o íon H^+ pode sequestrar radicais hidroxila e diminuir a eficiência de degradação (MELO *et al.*, 2009).

4.2.2.3.3. Tratamento com $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$

O H_2O_2 em solução, por conta de seu potencial de oxidação, pode oxidar diretamente com as substâncias presentes em um efluente. Apesar disso, a utilização de radiação UV com H_2O_2 favorece a geração de radicais hidroxila, além da possibilidade de ocorrer fotólise dos compostos orgânicos.

Cibati *et.al.* (2022) avaliou a utilização de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ com o objetivo de micro poluentes, dos quais 30 eram produtos farmacêuticos. Dentre as substâncias avaliadas estavam diclofenaco, naproxeno, furosemida dentre outros. Como resultado, o autor conseguiu obter o 86% de remoção das substâncias farmacêuticas utilizando tratamento com $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$.

4.2.2.3.4. Fotocatálise Heterogênea

Pode-se dizer que a fotocatálise é a aceleração de uma transformação fotoquímica com a ação de um catalisador, como o TiO_2 ou reagente Fenton. Em tratamento de efluentes farmacêuticos utilizando fotocatálise, o catalisador rutilo TiO_2 é geralmente o mais utilizado (DEEGAN, 2011). Isso se deve por conta de sua estabilidade, por ser insolúvel na maioria das condições, atóxico e de baixo custo.

Pesquisa realizada com Adishkumar & Kanmani (2010) mostrou resultados satisfatórios através da combinação na fotocatálise com a utilização de $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$ para a remoção de fenol na concentração de 400 mg/L e DQO de um efluente oriundo de um processo de fermentação. Outro estudo feito com Alaton *et.al.* (2004) mostra que a combinação da fotocatálise com a ozonização mostrou melhora na remoção de DQO em efluente com penicilina, assim como no trabalho de Rajkumar & Palanivelu (2004) onde a combinação de TiO_2 com

RuO₂-IrO₂ como anodo e cloreto como eletrólito foi responsável pela remoção de 95% de 8880 mg/L de DQO de compostos fenólicos de um efluente farmacêutico.

4.3. Conceito de qualificação de instrumentos e equipamentos

No Brasil as principais normas regulatórias que dispõem sobre qualificação são a RDC número 658 de 30 de março de 2022 e a Instrução Normativa (IN) 138 de 30 de março de 2022. A RDC 658 dispõe sobre as diretrizes e boas práticas de fabricação de medicamentos no Brasil e a IN 138 dispõe sobre as boas práticas de fabricação complementares às atividades de qualificação e validação.

A RDC 658 define qualificação como a ação de provar que quaisquer instalações, equipamentos, utilidades e sistemas funcionam corretamente e realmente levam aos resultados esperados. Em consenso com esta definição, a agência europeia de medicamentos (EMA), define qualificação como a evidência documentada que um equipamento opera conforme os parâmetros estabelecidos e tem performance efetiva, com repetitividade, para a produção de medicamentos ou vacinas de acordo com os atributos de qualidade e especificações pré-estabelecidas (MENEZES & GOMES, 2020). No Brasil, sob vigilância da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), a qualificação é uma exigência regulatória para os processos produtivos farmacêuticos.

Deve-se salientar que a RDC 658 estabelece que documentos de procedimentos e registros de calibração e qualificação de instrumentos e manutenção de equipamentos devem estar disponíveis para o Departamento de Controle de Qualidade da instituição que está executando a qualificação. Neste ponto, nota-se que calibração de instrumentos, como sondas por exemplo, faz parte das etapas do processo de qualificação e são peça chave para o prosseguimento das etapas posteriores. É importante destacar que a qualificação antecede o processo de validação, que consiste em provar documentalmente, de acordo com as Boas Práticas de Fabricação, que os procedimentos e processos, levam aos resultados esperados.

Fora do Brasil, vale ressaltar que a FDA (*Food And Drug Administration*), além de exigir que todas as indústrias farmacêuticas que produzem e distribuem medicamentos nos Estados Unidos realizam a qualificação e validação de seus

equipamentos objetivando respeitar os Códigos e Regulamentações Federais, também busca discutir em seus guias a importância de identificar os riscos associados às falhas dos equipamentos. De forma semelhante, a IN 138 exige que o escopo e extensão da qualificação e validação das instalações, equipamentos, utilidades e processos sejam baseadas em uma avaliação de risco. Portanto, observa-se a importância da aplicação de avaliação de riscos para dar suporte às etapas de qualificação. Adicionalmente, a FDA recomenda para a elaboração da qualificação uma abordagem prospectiva, isto é, uma abordagem com testes pré planejados assim como os resultados esperados. Há diferentes tipos de processos de qualificação que devem ser aplicados na indústria farmacêutica que serão apresentados no tópico seguinte.

4.3.1. Tipos de Qualificação

De acordo com Moretto & Calixto (2011) há quatro tipos de qualificação que devem preceder a uma validação e ocorrer em sequência. São elas:

- I. QD – Qualificação de Projeto – Entende-se como a etapa em que é verificado se o projeto de instalação, equipamento e sistema está de acordo com o que foi estabelecido para sua finalidade. A documentação enviada pelo fornecedor do equipamento geralmente é suficiente para verificar se o equipamento ou sistema está conforme requerido;
- II. QI – Qualificação de Instalação – Visa verificar e documentar as atividades necessárias para a instalação de um novo equipamento e/ou instrumento ou uma nova reinstalação. Entre as atividades desta etapa está a descrição do equipamento ou instrumento (número série, modelo, desenhos dentre outros), manuais e acessórios, instalação do equipamento ou instrumento no local correto conforme requerido assim como os acessórios e calibração dos instrumentos;
- III. QO – Qualificação de Operação – Objetiva realizar e documentar testes desenvolvidos com conhecimento do processo para garantir que o sistema está operando conforme projetado. Para isso o sistema deve funcionar corretamente e dentro dos parâmetros de operação pré-estabelecidos, assim como testar os limites operacionais inferiores e superiores;

- IV. QD – Qualificação de Desempenho – Esta etapa objetiva documentar que o equipamento ou sistema desempenha sua função pretendida de forma efetiva e com reprodutibilidade. Para isso realiza-se testes que englobam as faixas operacionais pretendidas utilizando os materiais de produção reais ou materiais similares que permitam estabelecer as condições normais de operação. Esta etapa pode ser englobada no QO ou fazer parte da validação do processo.

De acordo com a RDC 658 de 2022 que dispõe sobre as diretrizes gerais de boas práticas de fabricação, as etapas de qualificação devem ser baseadas em riscos.

4.4. Gerenciamento de risco e análise de risco

Se tem conhecimento que o conceito de risco e avaliação de risco apresenta uma longa história. Sabe-se que os atenienses há 2400 anos atrás já realizavam avaliação de riscos antes de uma tomada de decisão. Apesar disso, o uso da avaliação e gerenciamento de risco é considerada relativamente nova no campo científico, tendo início mais ou menos 50 anos atrás (AVEN, 2016). A ideia do modelo de risco auditável, por exemplo, teve início na década de 1980 na era de negócios, com aumento considerável em 1995 com o colapso do banco Barings, afetando a reputação de empresas como a Shell (POWER, 2004).

Do ponto de vista de instalações industriais, estima-se que somente nos anos 60 as empresas começaram a se preocupar e analisar os acidentes que ocorriam em seus processos (FERNANDES, 2018). A preocupação também acompanhou os possíveis impactos negativos que estes acidentes pudessem causar a vizinhança, funcionários e ao meio ambiente (MUNIZ, 2016). Como consequência deste avanço, tal efeito tem relação com o início dos estudos do conceito de segurança de processos, além da criação de instrumentos de detecção, estratégias de controle e procedimentos mais rigorosos visando mitigar os riscos associados aos processos industriais. A Figura 6 esquematiza iniciativas internacionais que deram início a preocupação para segurança de processos e conseqüentemente ao gerenciamento de riscos.

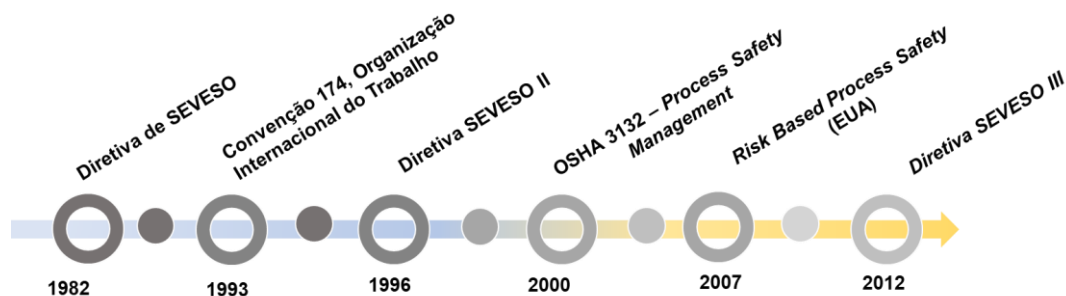


Figura 6- Linha do tempo de iniciativas internacionais para segurança de processos. Fonte: Adaptado de Fernandes, 2018.

Com base na linha do tempo, atualmente, o gerenciamento de risco é utilizado além das áreas de negócios e governamentais, incluindo as áreas de finanças, na segurança ocupacional, saúde pública e por agências regulatórias, objetivando por exemplo, a farmacovigilância. Do ponto de vista da indústria farmacêutica brasileira, a ANVISA dispõe do papel de realizar inspeções nas áreas produtivas em que são produzidos produtos farmacêuticos. O gerenciamento dos riscos, dessa forma, auxilia no conhecimento dos riscos inerentes aos processos produtivos farmacêuticos, assim como seus impactos, permitindo que os mesmos sejam tratados para garantir qualidade ao produto final. Essa abordagem é conhecida como o gerenciamento de risco à qualidade na indústria farmacêutica (ICH Q9, 2005).

No processo de gerenciamento de riscos, normalmente alguns termos são confundidos, como por exemplo, perigo e risco. Pode-se ressaltar que na literatura há muitas definições para estes termos, mas que geralmente são semelhantes. De acordo com o *Center for Chemical Process Safety* (2001), perigo pode ser entendido como uma característica inerente a um sistema, processo, ameaça, atividade, ou material com potencial de causar danos. Nolan (1994), de forma semelhante, define perigo como uma condição química ou física que tem o potencial de causar danos às pessoas, bens materiais e ao meio ambiente. Já risco é definido geralmente como fontes de riscos, eventos potenciais, suas consequências e suas probabilidades, pois está associado a variabilidade de incertezas que envolvem diversos fatores, sejam eles comportamentos humanos, influências sociais e organizacionais. Segundo o Guia 51 do IEC (*International Electrotechnical Commission*) de 2014, risco é a combinação da probabilidade de ocorrência de um evento com a severidade que

este evento tem em causar danos.

Deve-se ressaltar que o gerenciamento de risco, resumidamente, busca aumentar a probabilidade e os impactos de eventos positivos e reduzir a probabilidade e os impactos de eventos adversos ou negativos. As etapas do gerenciamento de risco de acordo com a ISO 31000 são apresentadas na Figura 7 a seguir.

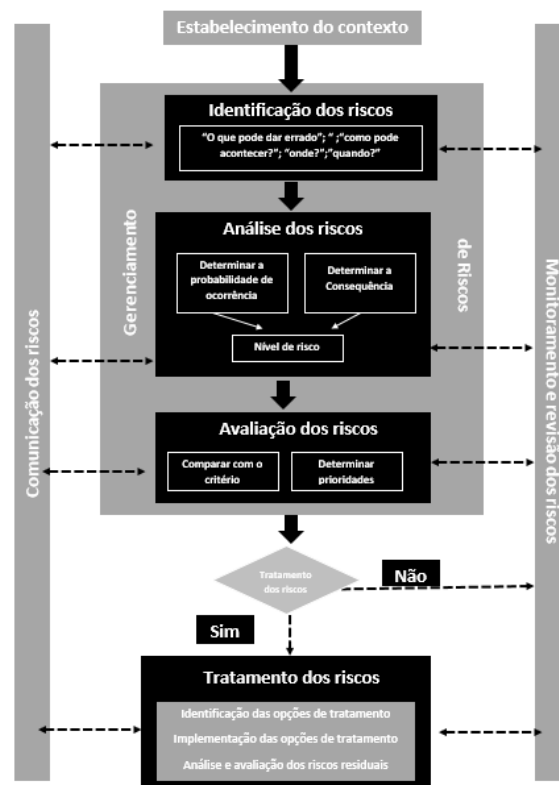


Figura 7 - Etapas do processo de gerenciamento de riscos. Fonte: Adaptado de ISO 31000, 2012

De acordo com a Figura 7 entende-se como etapa inicial o estabelecimento do contexto em que está inserido o trabalho. Logo, é importante descrever de forma detalhada onde será realizado o trabalho e suas expectativas em relação ao estudo, assim como deixar claro a todos os envolvidos no trabalho sobre as tomadas de decisão e ações que serão feitas de acordo com o processo de avaliação, levando em consideração aspectos ambientais e sociais. Esta é uma etapa muito importante, pois também tem relação no que diz respeito ao engajamento dos participantes (ISO 31010, 2019). A etapa posterior é a identificação dos riscos, em que é realizado o mapeamento dos riscos associados às atividades do trabalho de estudo, sejam elas para os colaboradores, meio ambiente e infraestrutura. Destaca-se nesta etapa buscar a

identificação das principais fontes de incertezas e efeitos, sejam eles benéficos ou prejudiciais, dependendo do escopo da avaliação. A etapa da análise de risco consiste em estabelecer uma estimativa do risco identificado na etapa anterior, podendo ser uma análise através de uma metodologia qualitativa ou quantitativa. Com isso, estima-se a probabilidade de determinado evento, assim como sua severidade (ERICSON, 2015). A avaliação do risco é a etapa onde é feita comparação do risco identificado e analisado frente a um critério estabelecido de risco. Dessa forma, é possível tratar os riscos de acordo com seus respectivos níveis de risco de acordo com o critério acordado, sugerindo pontos de melhorias buscando a mitigação dos mesmos. As informações são então repassadas para todas as partes interessadas buscando a ciência de todos em relação aos riscos do sistema estudado e das recomendações sugeridas para que os riscos sejam mitigados. O estudo então é revisto após as recomendações serem implementadas.

4.4.1. Metodologias para gerenciamento de risco

Existem grande gama de técnicas disponíveis que podem ser adotadas para uma análise de risco, com diferentes formas e métodos. Sabe-se que as ferramentas podem ser classificadas em três grupos de acordo com o fim pretendido: qualitativas, quantitativas e a combinação de ambas (*CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY*, 2001). Este último caso está associado a atender as necessidades do usuário.

Em relação às técnicas, se tem das mais simples às técnicas mais robustas. Pode-se citar, como exemplo, as técnicas de *Checklist*, *What-if*, Análise de Modo de Falhas e Efeitos (FMEA), Análise do modo de falha, efeitos e criticidade (FMECA), Análise de Árvore de Falha (FTA), Estudo de Perigo e Operabilidade (HAZOP), Análise Preliminar de Perigo (APP), Análise de camada de proteção (LOPA) dentre outras (VENKATASUBRAMANIAN *et.al.*, 2000). A seguir é mostrado na Tabela 6 alguns exemplos de técnicas, assim como suas abordagens e suas respectivas etapas de aplicabilidade no processo de gerenciamento de risco.

Tabela 6- Exemplos de metodologias de análise de risco e suas abordagens. Fonte, adaptado de NBR ISO 31010, 2019.

Técnica	Abordagem			Estágios de aplicabilidade na gestão de riscos		
	Qualitativa	Quantitativa	Semi quantitativa	Identificação	Análise	Avaliação
Árvore de Falhas (FTA)	X	X			X	
Árvore de eventos (ETA)	X	X			X	
Análise de perigos e pontos críticos de controle (APPCC)	X				X	
Estudo de perigo e operacionalidade (HAZOP)	X			X	X	
What If	X			X	X	
Bow tie	X		X			
Delphi	X			X		
Análise preliminar de perigos (PHA)	X			X		
Análise de modos e efeitos de falha (FMEA)	X	X	X	X	X	
Análise de modos e efeitos de falha e criticidade (FMECA)	X	X	X	X	X	
Análise de camadas de proteção (LOPA)	X	X	X		X	
Análise da confiabilidade humana (HRA)	X	X			X	
Matriz de riscos	X	X	X			X
Índice de risco			X			X
Análise de Ishikawa	X			X	X	

Observa-se, de acordo com a Tabela 6, que algumas técnicas podem ser utilizadas tanto de forma qualitativa, quanto quantitativa, apresentando ainda a

possibilidade de ser semiquantitativa. Portanto, a aplicabilidade e sua classificação vão depender do contexto estabelecido no trabalho, assim como os dados disponíveis e objetivo. Uma outra forma de classificar as ferramentas é de acordo com sua utilização em cada estágio no processo de gerenciamento de risco, baseado na Figura 7, ou seja, aplicadas para identificação de riscos, análise ou avaliação.

4.4.1.1. Análises qualitativas

Entende-se como ferramentas qualitativas aquelas ferramentas que fornecem resultados através de uma análise descritiva. Isto é, atribui-se escalas linguísticas tanto para a probabilidade de ocorrência de um determinado evento quanto para sua severidade. Com essas descrições uma matriz de risco pode ser elaborada para fornecer os níveis de riscos, que geralmente são definidos como risco alto, médio e baixo, auxiliando dessa forma em tomadas de decisão. As escalas podem ser atribuídas utilizando tantos números ou letras, sendo as descrições de cada escala definidas pela equipe em consenso (MODARRES, 2006). São metodologias bastante utilizadas pela simplicidade e rapidez, além de ser de fácil entendimento. Entretanto, deve-se sempre levar em consideração que os resultados geralmente são subjetivos.

4.4.1.2. Análises quantitativas

Já a análise quantitativa utiliza como parâmetros a probabilidade de ocorrer um determinado evento, assim como a magnitude da severidade, baseado em dados históricos ou através de métodos matemáticos (PAQUES *et.al.*, 2015). Portanto, são metodologias mais complicadas, que exigem mais tempo e esforço, principalmente quando se tem cenários mais complexos de serem analisados.

4.4.1.3. Metodologias para identificação de risco

4.4.1.3.1. Delphi

A técnica Delphi foi originada nos anos 1950 por Norman Dalkey e foi implementada para projetos militares dos Estados Unidos. Na época o objetivo principal era obter um panorama geral das opiniões de especialistas a respeito dos planos estratégicos soviéticos, com intuito de auxiliar na gestão de produção

bélica dos Estados Unidos. (DALKEY & HELMER, 1963).

A técnica Delphi consiste em uma técnica que visa obter pontos de vistas e coletas de julgamentos de forma anônima através de um conjunto de questionários sequenciais, onde os resultados são divulgados para os participantes envolvidos de forma individual objetivando estabelecer através de um processo iterativo o consenso. Dessa maneira, todos os participantes ficam cientes das opiniões e dos resultados, mas sem saber quem as deu. A quantidade de rodadas é estabelecida de acordo com a necessidade e distanciamento do consenso. Com o passar das rodadas e a divulgação dos resultados, a tendência é que a variabilidade das respostas relacionadas a um tema decresça, indicando convergência (CREAMER *et.al*, 2012).

De acordo com Rowe & Wright (1999) a metodologia clássica de técnica Delphi pode ser dividida em quatro principais etapas:

1. Formação dos participantes de forma anônima, com intuito de permitir que os mesmos expressem sua opinião sem nenhum constrangimento ou tipo de pressão social ou hierárquica;
2. Processo iterativo através de rodadas, que permitirá o refinamento das opiniões buscando um consenso;
3. *Feedback* dos resultados para deixar os participantes cientes todas as opiniões;
4. Compilar as opiniões e analisar os dados.

A metodologia possui a grande vantagem de permitir que todos possam opinar a respeito de um tema sem influências de nível hierárquico. Portanto, permite que todas as opiniões tenham o mesmo ponderamento. Os questionários podem ser enviados de forma eletrônica, o que facilita a coleta e o tratamento dos dados. Para a implementação da metodologia todos os participantes devem estar comprometidos com o estudo, pois quanto maior a participação, mais credibilidade terá os resultados. Além disso, permite que a coleta de dados flua com mais rapidez.

4.4.1.3.2. Análise Preliminar de Perigo - PHA

A técnica conhecida como análise preliminar de perigo (PHA), foi inicialmente desenvolvida pelo exército dos EUA e está listada como requisito

militar padrão para programas de segurança. Seu uso militar se deve principalmente aos benefícios da ferramenta em poder identificar perigos, de forma simples e eficiente, no início de um trabalho mais complexo ou de uma área que ainda não se tem conhecimento histórico de ocorrências de acidentes (OSTROM & WILHELMSSEN, 2019). Atualmente, a ferramenta é utilizada no início de projetos e processos podendo ser utilizada como auxílio inicial para outras ferramentas mais complexas. Entretanto, seu uso expande-se para diferentes estágios do ciclo de vida de um processo, como por exemplos em cenários onde se tem modificações de etapas de processos, objetivando identificar perigos e recomendar medidas de controle (YAN & XU, 2019). Outro uso relevante é no descomissionamento de processos e de restauração ambiental.

Assim como a HAZOP, a metodologia exige uma equipe onde exista um mediador experiente na ferramenta em questão e os participantes devem ser experientes no processo estudado. A metodologia é feita através de planilhas, onde um sistema ou subsistema é delimitado para ser estudado. Com isso, os perigos são identificados, que pode ser por exemplo o vazamento de gás, perigo de explosão, exposição a materiais tóxicos, alta voltagem, dentre outros. As possíveis causas são listadas, levando em consideração causas associadas a problemas de equipamentos e erros humanos. Posteriormente os efeitos são listados e as recomendações e medidas de controle são sugeridas. Com a ferramenta é possível realizar priorização para mitigação dos riscos, pois pode-se levar em conta na condução do trabalho a de forma qualitativa a estimativa de ocorrência de um determinado evento e sua severidade, com o risco podendo ser classificado através de uma matriz de risco.

De acordo com Ostrom & Wilhelmsen (2019), a frequência de ocorrência do evento pode ser determinada de forma qualitativa, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Frequência de ocorrência de um evento. Fonte: OSTROM & WILHELMSSEN, 2019

Probabilidade (por ano)	Descrição
$< 10^{-6}$	Improvável de ocorrer: eventos que não ocorrem durante o ciclo de vida do processo
10^{-6} a 10^{-4}	Remoto: eventos que provavelmente não vão ocorrer no ciclo de vida do processo
10^{-4} a 10^{-2}	Pouco provável: eventos que podem ocorrer no ciclo de vida do processo
10^{-2} a 10^{-1}	Provável: eventos que podem ocorrer diversas vezes no ciclo de vida do processo Muito provável: eventos que ocorrem com frequência

Conforme citado anteriormente, a análise preliminar de perigo permite a realização de um ranqueamento dos potenciais perigos encontrados. Isso é possível de acordo com a classificação das consequências de cada evento, que pode ser classificado e categorizado de acordo com suas consequências, sejam elas às pessoas, infraestrutura, ao processo e meio ambiente, conforme exemplo apresentado na Tabela 8.

Tabela 8- Categorização das consequências. Fonte: OSTROM & WILHELMSSEN, 2019

Classe	Descrição
Classe I – Negligenciável	As consequências associadas ao evento não causam danos aos colaboradores, ao processo e à infraestrutura.
Classe II – Moderado	Os efeitos podem causar danos aos colaboradores e ao processo.
Classe III – Crítico	Causa danos severos aos colaboradores, doenças ocupacionais, e danos severos ao processo e infraestrutura.

Classe IV – Catastrófico	Os efeitos podem causar morte aos colaboradores, invalidez dos colaboradores por conta de doenças e perda do processo.
---------------------------------	--

4.4.1.3.3. Técnica “WHAT IF” (SWIFT)

A técnica “What If”, do português “E se?”, é uma ferramenta originalmente desenvolvida para estudos de perigos em plantas químicas e petroquímicas que atualmente tem sua aplicação expandida para indústria alimentícia, de energia, cosmética e de transporte. Através de um *brainstorm* a técnica avalia a partir de perguntas “E se?” o que pode dar errado se algo ocorrer fora da normalidade de um processo (CLEMENTS, 2012). Sua vasta aplicação se deve por conta de ser uma alternativa mais simples frente às outras metodologias qualitativas, sendo normalmente mais rápida e flexível de ser aplicada. Diferente de outras metodologias, a “What If?” permite participantes com diferentes anos de experiência. Apesar de ser uma técnica que se utiliza do *brainstorm* para a coleta de informações, não é uma técnica estruturada e sistemática como a HAZOP. Apesar disso, a metodologia possibilita a identificação de potenciais perigos e salvaguardas de um sistema, podendo ser aplicado em diferentes fases do ciclo de vida de um processo (NOLAN, 1994).

Para a aplicação da técnica é necessário definir o contexto do estudo, montar uma equipe experiente e treinada com a presença de um facilitador, sendo este o responsável por conduzir o estudo e comunicar os objetivos do trabalho. Montada a equipe e passada as informações, documentações a respeito do sistema devem ser fornecidas para auxiliar na condução do estudo, como por exemplo fluxograma de processo. Com isso, são geradas perguntas “E se?” para o sistema e a equipe deve discutir as possíveis consequências que podem ocorrer e registrá-las (LYON & POPOV, 2020). Exemplos de perguntas que normalmente são utilizadas:

- “E se” a vazão aumentar?
- “E se” a válvula falhar?
- “E se” a bomba centrífuga parar?
- “E se” o sensor de temperatura falhar?

Posteriormente, deve-se identificar possíveis salvaguardas existentes para cada cenário analisado e sugerir recomendações, caso necessário. Finalmente, é realizado um documento que é enviado, junto com os resultados para as partes interessadas, objetivando fundamentar um plano de ação para a redução ou mitigação dos riscos. A técnica, assim como outras, é feita através de planilhas, conforme exemplo da Tabela 9.

Tabela 9 - Exemplo de planilha de "What If?". Fonte: elaboração própria, 2022.

"What If?"					
Equipe:					
Data:		Facilitador:			
Processo/operação:					
Id.	"E se?"	Causas	Consequências	Salvaguardas	Recomendações
1	Sensor de nível falha e envia sinal para fechar a válvula de controle do fundo do tanque	Falta de manutenção, calibração	Possível transbordamento do vaso. Falta da alimentação da etapa posterior.	Alarme de alta e alta-alta	Intertravamento para fechamento da válvula de alimentação do tanque

Apesar das vantagens, é importante destacar que a metodologia tem suas limitações. Uma delas está associada à subjetividade dos resultados, visto que é dependente das opiniões dos participantes da equipe. Devido a isso, há uma dificuldade em se obter argumentos convincentes que reforcem os resultados e, conseqüentemente, as tomadas de decisão. Por conta disso, a formação da equipe de estudo é de extrema relevância para se obter resultados satisfatórios (LYON & POPOV, 2020).

4.4.1.4. Metodologias para análise de risco

4.4.1.4.1. HAZOP – Estudo de Perigo e Operabilidade

A técnica HAZOP foi originalmente desenvolvida e utilizada na ICI (*Imperial Chemical Industries*) em 1963, onde grupo de colaboradores britânicos

trabalharam durante meses e utilizaram a ferramenta que auxiliou no desenvolvimento de uma nova unidade de produção de fenol e acetona para produção de cumeno (GALANTE, 2014). A ferramenta foi desenvolvida como um método padronizado que permitisse analisar os perigos baseados nas condições de operação e que pudessem ser analisadas as consequências caso ocorra algum desvio (NOLAN, 1994).

Posteriormente, a ferramenta foi amplamente utilizada para análise de processos químicos, sendo sua utilização estendida a outros processos e sistemas mais complexos, pois permite além de identificar possíveis perigos, problemas operacionais (GALANTE, 2014). Sua aplicação expandiu-se para áreas de sistemas de diagnósticos médicos, medidas de segurança rodoviária, avaliação de perigos na utilização de sistemas fotovoltaicos, dentre outros (DUNJÓ, 2010). Portanto, além de muitas áreas de aplicação, a HAZOP pode ser utilizada tanto para novas plantas quanto para a identificação de riscos em plantas que estão operacionais (POLLARD & STEPHENSON, 2016)

A ferramenta é uma metodologia qualitativa de risco, que de forma sistemática e minuciosa, permite a identificação de desvios de parâmetros de processos (volume, fluxo, temperatura, pressão) e a análise dos riscos através de um procedimento que gera perguntas utilizando palavras guias aplicadas a pontos específicos, denominados como “Nós”. Deve-se levar em consideração, além dos parâmetros a serem avaliados, a finalidade das operações examinadas, como por exemplo, transferência de fluidos, separação de fases etc. (SUHARDI, *et.al.* 2018). Para definição dos “nós”, que são os limites para a aplicação do estudo, a metodologia exige documentos como fluxograma de processos e fluxogramas de instrumentação e tubulação, assim como desenhos técnicos e descrição do processo.

As perguntas são realizadas através de *brainstorming* e as palavras guias orientam a equipe na avaliação dos desvios (HYATT, 2003). Após a geração dos desvios, são identificadas as possíveis causas associadas ao evento, devendo ser levado em consideração não apenas causas associadas a falhas de equipamentos e instrumentos, mas também causas humanas. É definido neste momento a probabilidade de ocorrência do evento. Em seguida, são listadas as consequências de acordo com o evento estudado, assim como sua respectiva

severidade. As consequências devem ser identificadas levando em conta impactos ao meio ambiente, infraestrutura e pessoal. Em seguida são identificados as salvaguardas existentes na envoltória de estudo, buscando identificar elementos de detecção do evento analisado, como por exemplo a presença de instrumentação, alarmes, válvulas de segurança e válvulas de não retorno (CRAWLEY & TYLER, 2015). Concluída a etapa de identificação de salvaguardas, são realizadas recomendações de acordo com cada risco. As etapas se repetem até que todas as palavras guias escolhidas para a avaliação do nó em questão tenham sido esgotadas. Dessa forma, pode-se dar prosseguimento ao outro nó de estudo.

Logo, os membros da equipe devem ser selecionados adequadamente, levando em consideração a expertise de cada membro. Portanto, convém a equipe ser multidisciplinar, com a presença de engenheiros da planta, operadores, especialistas, sendo o líder experiente em estudos de HAZOP (ISO 31010, 2019). As etapas sequenciais do procedimento utilizado na HAZOP, de acordo com IEC 61882:2016, são:

- Definir contexto do estudo e fronteiras
- Informações a respeito da fronteira escolhida (fluxograma de processos, desenhos técnicos, dados históricos de processos, desenhos técnicos)
- Estabelecimentos dos “nós” de estudo
- Seleção dos parâmetros de processo associados a cada “nó”
- Estabelecimento das palavras guia associado a cada parâmetro de processo
- Estabelecimentos dos desvios possíveis
- Possíveis causas de cada desvio
- Consequências associado a cada desvio
- Identificar salvaguardas
- Sugerir ações e recomendações

De uma forma geral, a técnica permite identificar perigos associados às atividades dos colaboradores, equipamentos, operações que podem oferecer danos à saúde do trabalhador, ao meio ambiente, perdas de produto e eficiência do processo. As palavras guias que geralmente são utilizadas são apresentadas na Tabela 10, assim como exemplos de desvios de acordo com o parâmetro

estudado.

Tabela 10 - Exemplos de palavras-guia e seu respectivo significado. Fonte: Adaptado de IEC, 2016.

Palavras guia	Significado	Exemplo de desvio
Nenhum (a)	Negação da intenção principal	Nenhum fluxo Nenhuma reação
Mais	Aumento quantitativo do parâmetro	Mais pressão Maior nível
Menos	Diminuição quantitativa do parâmetro	Menos pressão
Reverso	Ocorrência oposta da intenção principal	Fluxo reverso
Parte de	Decréscimo qualitativo	Parte de concentração
Assim como	Modificação/aumento qualitativo (material adicional)	Água assim como óleo

A metodologia, por ser sistemática, permite identificar de forma crítica riscos que não são identificados em outras ferramentas, pois avalia todos os desvios associados aos parâmetros analisados. Devido a esta característica, a ferramenta auxilia no maior entendimento do sistema aos usuários do processo. Paralelamente, permite também identificar possíveis riscos associados aos erros humanos. Em contrapartida, dependendo do cenário, a metodologia pode exigir tempos longos para aplicação da ferramenta, além exigir experiência dos participantes do estudo (KOTEK & TABAS, 2012).

A metodologia HAZOP é feita através de planilhas, conforme exemplo da Tabela 11.

Tabela 11 - Exemplo de planilha de HAZOP. Fonte, elaboração própria, 2022.

HAZOP											
Elaborado por:											
Equipe:											
Data:											
Descrição do sistema:											
Nó:											
Item	Parâmetro	Palavra guia	Desvio	Causas	Consequências	Salvaguardas	P	S	Risco	Recomendações	Observações
1											
2											

Percebe-se, pela Tabela 11, a presença das colunas de probabilidade ou ocorrência de um evento (P), severidade (S) e risco. Normalmente na elaboração das HAZOP essas colunas não são inseridas, mas atualmente recomenda-se

utilizar essas colunas objetivando estabelecer níveis de riscos para auxiliar no tratamento dos mesmos, através de uma matriz de risco. A avaliação da severidade e ocorrência podem ser realizadas tanto de forma qualitativa quanto quantitativa. Assim como outras metodologias, a HAZOP apresenta algumas limitações que devem ser consideradas na elaboração do trabalho. Caso seja muito complexo o sistema analisado, a implementação da ferramenta pode ser longa e exigir alto conhecimento dos participantes (KOTEK, 2012).

4.4.1.4.2. Árvore de Falhas (FTA)

Sabe-se que originalmente a técnica foi desenvolvida após o acontecimento de acidentes considerados causados por “pequenas coisas” em veículos e aeronaves. Com o pensamento de que “pequenas coisas podem causar acidentes”, a *Bell Telephone Laboratories* em 1962 desenvolveu e aplicou a primeira FTA. A técnica também foi utilizada para determinação de medidas corretivas na elaboração de mísseis pela força aérea dos Estados Unidos (OSTROM & WILHELMSSEN, 2019).

A FTA pode ser considerada tanto uma técnica qualitativa, quanto quantitativa. Sua característica vai depender das informações disponíveis que permitirão sua aplicabilidade. A técnica é normalmente usada para permitir a identificação e análise de fatores que podem contribuir para um evento indesejado, geralmente denominado de “evento-topo” (SILVANITA et.al, 2011). Partindo desse princípio, as causas são identificadas e organizadas de uma maneira lógica através de um diagrama em árvore que descreve os fatores causais e suas relações lógicas com o “evento-topo”. As causas podem ser falhas humanas quanto falhas de hardware e software. A relação lógica é representada por portas, que podem ser “E” e “OU”, que no diagrama são apresentados como símbolos (BARGUES et.al., 2017). De um modo geral, todas as causas são analisadas de forma similar até que as posteriores sejam consideradas improdutivas.

De forma resumida, a sequência para a implementação da ferramenta é a seguinte:

- Definição do evento topo e problema
- Construção da árvore de falha a partir do “evento-topo”, identificando

as possíveis causas do modo de falha.

- Avaliação qualitativa
- Avaliação quantitativa (se possível e se necessário).

A metodologia pode ser utilizada tanto em etapas de projeto quanto durante uma operação com o objetivo de identificar e analisar possíveis falhas que podem levar a um “evento-topo”. Tem-se como vantagem em ser uma ferramenta sistemática, flexível e lógica. Apesar disso, possui a desvantagem de lidar com estados que avaliam a falha e o sucesso, deixando de analisar falhas secundárias e acidentais

4.4.1.4.3. Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC)

A técnica análise de perigos e pontos críticos de controle, do inglês HACCP (*Hazard analysis and critical control points*), foi originada na década de 70 para assegurar a segurança dos alimentos no programa espacial da NASA (NBR ISO, 2019). A técnica a partir desse momento começou a ser amplamente utilizada na indústria alimentícia, com intuito de buscar, além da segurança de seus processos, garantir a qualidade de seus produtos (SUN & OCKERMAN, 2004). Portanto, aplica-se em todas as áreas envolvidas no processo produtivo alimentício, desde os fornecedores de matéria prima, insumos, limpeza e sanitização até o produto final (HUSS, 1993). Apesar do amplo uso no setor, a mesma pode ser utilizada em outros processos, como por exemplo, na indústria farmacêutica que tem seu uso crescente e em setores que estão envolvidos com riscos biológicos, químicos e físicos.

Por ser uma ferramenta que busca a prevenção através de princípios técnicos e científicos, a ferramenta se tornou requisito em diversos países, incluído o Brasil pela Portaria número 1428 do Ministério da Saúde de 26/11/93, para os setores que trabalham no ramo de alimentos. Dessa maneira, o setor visa alcançar os benefícios através da ferramenta, que além da segurança e qualidade de seus produtos, cumpre os requisitos legais e traz credibilidade para os consumidores.

Essencialmente, a técnica busca identificar perigos ou ameaças que podem influenciar em processos operacionais em pontos críticos que podem causar danos aos seus processos e afetar de forma negativa a qualidade do

produto. Portanto, consegue identificar parâmetros críticos que podem causar prejuízos ao produto e por conta disso permite monitorá-los para que as fontes sejam controladas. De acordo com McSwane *et. al* (2003), a abordagem da ferramenta busca controlar os problemas antes que eles ocorram durante o andamento do processo. De acordo com Fernandes (2015), a metodologia da ferramenta consiste essencialmente em sete etapas:

- I. Análise de perigos e medidas preventivas
- II. Identificação dos pontos críticos de controle
- III. Estabelecimentos dos limites críticos
- IV. Estabelecimentos dos procedimentos de monitorização
- V. Estabelecimentos das ações corretivas
- VI. Estabelecimentos dos procedimentos de verificação
- VII. Estabelecimento dos procedimentos de registro

A implementação da ferramenta, de acordo com as etapas citadas anteriormente, exige alto comprometimento das partes envolvidas, principalmente da alta gestão, que deve definir adequadamente a equipe para executar o APPCC, estabelecendo cronograma e objetivos principais. Deve-se levar em consideração, neste contexto, os pré-requisitos para a execução da ferramenta. Pode-se citar como exemplo os procedimentos padrão de higiene ocupacional, de acordo com as BPF, obrigatórias e previstas por inúmeras legislações para garantir qualidade do produto, levando em consideração desde a aquisição das matérias primas até a chegada ao consumidor (SALGADO *et. al.*, 2020).

4.4.1.4.4. Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA) e Análise de Criticidade de Falha (FMECA)

Assim com outras metodologias, o FMEA foi originado na década de 1960, sendo inicialmente utilizado na indústria aeroespacial, focando em questões de segurança. Sabe-se que foi aplicada formalmente no projeto Apollo desenvolvido pela NASA, consolidando seu uso na no setor. Com o passar dos anos a metodologia na indústria automobilística, chamando atenção para o ano de 1988 onde a *Ford Motor Company* elaborou um manual de instrução de FMEA de projeto e projeto. Paralelamente, a ferramenta foi ganhando espaço na indústria

de processos químicos (McDERMOTT *et.al.*, 2009). O principal objetivo da ferramenta é prevenir que problemas relacionados a processos e produtos não ocorram, se caracterizando por ser uma metodologia sistemática que permite identificar potenciais modos de falha ao cumprimento de uma determinada função, identificando as possíveis razões (ADAR, 2017). Portanto, visa diminuir as chances de um processo, sistema ou produto falhar durante sua operação. Entende-se como sistema, neste caso, hardware, software, suas interações e processos.

Pode-se se dizer, que diferente de algumas técnicas, o FMEA inicia pelo potencial falha que pode ocorrer e depois avalia os principais efeitos ao produto ou processo. A metodologia tem forte potencial na priorização dos riscos, o que favorece o tratamento para a mitigação dos riscos mais críticos. De acordo com a IEC 60812 (2006) essa é uma característica presente na FMECA, que basicamente é a inclusão dos níveis de risco na FMEA. Há diversos métodos de criticidade que podem ser utilizados, sendo o mais comum a utilização de uma matriz de risco, onde é levado em consideração a consequência e probabilidade de ocorrência do evento. Uma alternativa é o RPN, número de prioridade de risco, que consiste em um método de índice, onde é levado em consideração o potencial de detecção de uma falha. Isto é, uma falha de difícil detecção recebe prioridade frente às outras. Usualmente se usa o produto entre a severidade, ocorrência e a detecção ($RPN = \text{severidade} \times \text{ocorrência} \times \text{detecção}$), que podem receber descrições qualitativas ou serem de característica quantitativa, caso haja dados históricos. Os riscos são priorizados através dos resultados obtidos pelo RPN atendendo a um critério estabelecido previamente. (MADVARI, *et.al.*, 2018).

De acordo com McDermott *et. al* (2009) existem dois tipos de FMEA: FMEA de produto e FMEA de processo. O primeiro tem como objetivo identificar os riscos associados a um novo produto ou possíveis defeitos provenientes da sua produção que podem causar danos ao consumidor final. Pode-se citar como exemplo um air bag, que caso não funcione de forma adequada pode gerar danos ao usuário. Já FMEA de processo busca identificar problemas associados aos processos de produção de um produto, como por exemplo, em um processo de produção de produtos químicos onde desvios de temperatura, agitação dentre

outros parâmetros podem afetar a qualidade do produto.

A aplicação da ferramenta é bastante ampla, podendo ser implementada para análise de potenciais falhas em equipamentos e instalações, além de analisar operações de fabricação e seu impacto sobre a qualidade de um produto ou processo (ICH Q9, 2005). A técnica permite levar em consideração fontes de falhas que podem desencadear diferentes modos de falha, que geralmente são causas ambientais, fatores humanos e falhas de componentes de matérias prima.

Tabela 12- Exemplo de planilha de FMEA/FMECA. Fonte: Elaboração própria, 2022.

FMEA/FMECA										
Equipe:							Data:			
Elaborado:										
Sistema ou processo:										
Descrição do processo ou produto	Função	Modo de falha potencial	Efeito de falha	Causa da falha	Detecção	S	O	D	RPN	Recomendações

Assim como as outras metodologias, a FMEA/FMECA é feita através de planilhas, conforme a Tabela 12. Inicialmente, é definido o contexto do estudo e a envoltória em que será realizado o estudo. Posteriormente, é descrita a funcionalidade do sistema ou produto e seus modos de falha. Para cada modo de falha é definido os efeitos e controles existentes. Caso seja utilizado um índice de risco, define-se a severidade do evento, sua ocorrência e a possibilidade de detecção para o cálculo do número de priorização de risco. Por fim, são feitas sugestões para a mitigação dos riscos e os resultados são reportados para que os riscos mais críticos sejam priorizados para serem tratados.

4.4.1.4.5. LOPA – Análise de Camadas de Proteção

Assim como o nome sugere, a metodologia LOPA objetiva alcançar a

redução de riscos através de camadas de proteção. Com o uso de uma abordagem semiquantitativa, a metodologia se caracteriza por ser analítica e geralmente vem acompanhada de uma HAZOP. Uma das características principais da metodologia é o entendimento de como um desvio de processo pode gerar consequências se uma salvaguarda não funcionar adequadamente (WILLEY, 2014).

Inicialmente é selecionado um par de causa-consequência em que assim como riscos, as camadas de proteção independentes (IPL) são identificadas. Sabe-se que IPL é um dispositivo capaz de prevenir consequências indesejadas de um evento iniciador e convém que ele seja independente do evento causal e associado a outra camada de proteção (NBR ISO 31010,2019). Segundo o *Center for Chemical Process Safety* (2021), toda camada de proteção é considerada como uma salvaguarda, mas nem toda salvaguarda é uma camada de proteção independente. Portanto, deve ser efetiva, independente do evento iniciador, disponível e auditável, ou seja, capaz de ser monitorada para verificar sua efetividade e funcionalidade (MUNIZ, 2016). A metodologia tem o potencial de determinar os níveis de segurança (SIL) requeridos para sistemas instrumentados e para demonstrar que o SIL implementado é alcançado.

Portanto, a metodologia permite analisar se as salvaguardas realmente são suficientes para mitigar os riscos de um processo ou sistemas e, conseqüentemente, identifica operações nas quais as salvaguardas são insuficientes. Além disso, camadas críticas de proteção conseguem ser identificadas para que possam receber atenção e recursos. Apesar das vantagens, a metodologia pode deixar de avaliar interações complexas de risco e deixar de cobrir cenários acidentais.

4.4.1.5. Metodologias para Avaliação de Risco

4.4.1.5.1. Matriz de Risco

A matriz de risco, também conhecida como mapa de calor e matriz de causa e consequência, é uma ferramenta bastante utilizada para caracterização de riscos. Com essa finalidade, uma matriz de risco é desenhada considerando duas dimensões: probabilidade e severidade das consequências. As escalas de cada dimensão normalmente apresentam natureza qualitativa, sendo descritas

de forma textual pelos especialistas, mas também podem ser semiquantitativas ou quantitativas. Portanto, tanto a probabilidade quanto a consequência podem receber valores numéricos ou textuais de acordo com a sua magnitude (MUSTAFA, 2014).

A caracterização do risco é estabelecida através do produto das duas dimensões de acordo com um critério pré-estabelecido pela equipe (AVEN, 2017). O risco geralmente é classificado em três níveis: baixo, médio e alto. A representação do produto dessas duas dimensões é representada graficamente em diferentes cores. A cor vermelha normalmente representa o risco mais alto ou inaceitável, verde o risco baixo ou aceitável e o amarelo o risco médio, que precisa ser reduzido para o nível baixo (DUJIM, 2015). Deve-se ressaltar que dependendo do critério estabelecido pela equipe, mais de uma cor e nível de risco podem ser utilizados. Um exemplo de matriz de risco 5x5 é mostrado na Tabela 13.

Tabela 13 - Exemplo de matriz de risco. Fonte: Adaptado de WHO, 2016

		Severidade (S)				
		Insignificante	Baixo	Moderado	Alto	Catastrófico
Probabilidade (P)		1	2	4	8	16
Raro	1	1	2	4	8	16
Improvável	2	2	4	8	16	32
Possível	3	3	6	12	24	48
Provável	4	4	8	16	32	64
Certo de ocorrer	5	5	10	20	40	80
Risco Score R= (P)x(S)		<6	7 a 12		13 a 32	>32
Nível de risco		Baixo	Médio		Alto	Muito alto

A metodologia é bastante utilizada para comparar e apresentar riscos, sendo de fácil aplicabilidade e entendimento para apresentar os resultados. Além de auxiliar nas tomadas de decisão. Deve-se chamar atenção, entretanto, que muitas vezes há dificuldade na definição das escalas por ser uma metodologia de alta subjetividade (MUSTAFA, 2014). Devido a isso, o contexto do estudo, definições de escala e níveis de risco devem ser claras e definidas em consenso com a equipe.

4.4.1.5.2. Árvore de Decisões

A árvore de decisões consiste em uma metodologia que apresenta esquematicamente, em um diagrama em formato de árvore, os caminhos

possíveis para se chegar em um resultado a partir de uma decisão inicial. Através dos possíveis caminhos é feita análise dos eventos que podem ocorrer com o prosseguimento de uma determinada escolha. A probabilidade de ocorrência dos eventos pode ser estimada, sendo a melhor decisão do caminho a se seguir aquele que possui o melhor valor calculado entre o produto de cada probabilidade de ocorrência dos eventos.

A metodologia apresenta a vantagem de poder representar a análise em forma gráfica, auxiliando na avaliação e representação do estudo. Paralelamente, com o uso do diagrama, geralmente se tem o melhor entendimento e compreensão do problema estudado. Apesar disso, dependendo do sistema estudado, as árvores podem se tornar grandes e complexas, dificultando o entendimento.

5. METODOLOGIA

O trabalho foi dividido em duas etapas, na primeira etapa foi realizado a pesquisa bibliográfica visando apresentar o “estado da arte” relacionado com o tema do trabalho; e na segunda etapa foi realizado um estudo de caso exploratório-descritivo, objetivando a aplicabilidade da ferramenta de análise de risco HAZOP (Estudo de Perigos e Operabilidade) com o auxílio de matriz de risco para priorizar a qualificação de instrumentos. A ferramenta em questão foi utilizada para identificação e avaliação de falhas que poderiam gerar riscos potenciais ao processo nas atividades industriais.

5.1. Estratégia de busca do estado da arte

Sabe-se que a pesquisa bibliográfica fornece ao pesquisador acesso a um conjunto de informações maior do que se o próprio pesquisasse por si só. (GIL, 2010). Visando auxiliar no entendimento do cenário do tema deste trabalho, que acompanha a compreensão do cenário onde o tema está inserido, assim como a busca dos objetivos específicos, fez-se buscas inicialmente no portal da CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior., assim como nas bases de dados Scopus, Web of Science, PubMed e Google Scholar. Adicionalmente, a revisão bibliográfica deste trabalho também teve o intuito de estabelecer o panorama da utilização das ferramentas de análise de risco para tomadas de decisão e tratamento de riscos em estações de tratamento de efluentes, assim como fornecer o cenário para outras aplicações das ferramentas.

A metodologia de pesquisa de artigos científicos se deu conforme esquema ilustrado na Figura 8 a seguir.

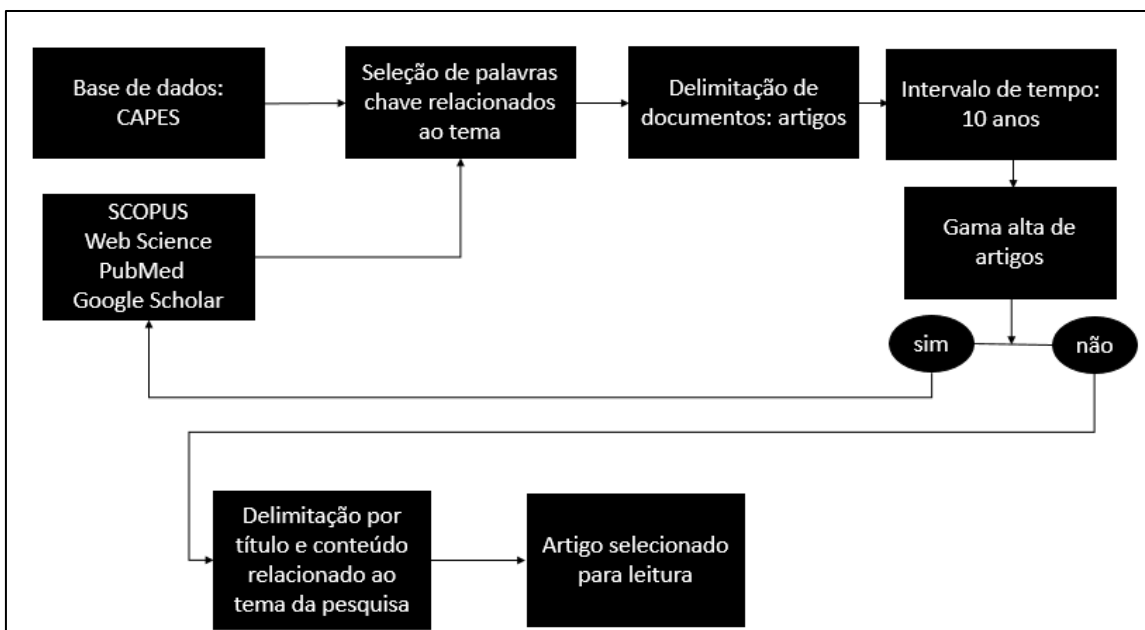


Figura 8- Estratégia de pesquisa bibliográfica. Elaboração própria, 2022.

Conforme figura anterior, a pesquisa foi limitada a palavras-chave relacionadas ao tema do trabalho no intervalo de 10 anos (2012-2022) na plataforma da CAPES. A escolha inicial da plataforma CAPES foi devido a ampla utilização para estes tipos de busca, além de abranger bases de dados científicos importantes. As seleções de palavras-chave foram realizadas com a combinação de diversas palavras associadas ao tema do trabalho. A combinação dos termos utilizados em português foram: “análise de riscos em estação de tratamento de efluente de indústria farmacêutica”, “avaliação de risco indústria farmacêutica”, “avaliação de risco efluentes indústria farmacêutica”, “gestão de risco de efluentes industriais farmacêuticos”, “gestão de risco estação de tratamento de indústria farmacêutica”, “gestão de risco planta de tratamento de efluente”. Todas as combinações foram traduzidas para o inglês com os termos e palavras com mais proximidade com o significado em português, sendo a busca realizada em todos os campos, ou seja, tanto no resumo, título e corpo do texto. Os arquivos selecionados para leitura foram somente àqueles que envolviam o uso de ferramentas de análise de risco. O mesmo racional foi realizado para literatura “cinza”, que inclui tanto resumos e trabalhos completos de anais de congresso quanto de dissertações, utilizando o Google Scholar.

5.2. Formação da Equipe de Expertise

Para execução da análise de risco, a formação de uma equipe com expertise dos processos e da ferramenta utilizada foi constituída (KHAN &

ABASSI, 1997). A equipe foi formada por 16 colaboradores: especialistas nos processos, operadores e colaboradores com especialidade em processos e gerenciamento de risco foi montada de acordo com a Tabela 14.

Tabela 14- Equipe multidisciplinar

Colaborador	Especialidade/Cargo
Colaborador A	Especialista em Saúde Pública e Saneamento Ambiental
Colaborador B	Engenheiro(a) Químico(a) e Especialista em Gerenciamento de Riscos
Colaborador C	Engenheiro(a) Ambiental da ETE
Colaborador D	Engenheiro(a) Químico
Colaborador E	Engenheiro(a) Químico(a) e Especialista em Tratamento de Efluentes
Colaborador F	Engenheiro(a) Químico(a) e Especialista em Segurança de Processos
Colaborador G	Engenheiro(a) Químico(a) e Especialista em Gerenciamento de Riscos
Colaborador H	Biólogo(a)
Colaborador I	Bioquímico(a)
Colaborador J	Engenheiro(a) Químico e Especialista em Gerenciamento de Risco
Colaborador K	Engenheiro (a) de Automação da ETE
Colaborador L	Engenheiro(a) Ambiental e Especialista em Tratamento de Efluente
Colaborador M	Técnico da ETE
Colaborador N	Técnico da ETE
Colaborador O	Técnico da ETE
Colaborador P	Técnico da ETE

5.3. Metodologia Hazop, Matriz de Risco e Delphi

A equipe multidisciplinar selecionou os “nós” do estudo, de acordo com a funcionalidade de cada etapa, isto é, a envoltória dos sistemas onde foi feito o estudo e aplicado a ferramenta de análise de risco. Seguindo a metodologia HAZOP, a equipe selecionou os parâmetros que foram avaliados em cada “nó” e as palavras guia para a formação do desvio analisado.

Na metodologia do HAZOP, são necessárias as revisões de diversos documentos do processo a ser analisado, como fluxogramas de processos,

desenhos das plantas, informações técnicas dos equipamentos dentre outros (KLETZ, 2009). Por isso toda documentação da planta de tratamento de efluente foi revisada e estudada objetivando entendimento do processo, assim como as técnicas que foram utilizadas entre as etapas e a disposição dos equipamentos. A análise ocorreu com a revisão da documentação referente aos fluxogramas de processo, memorial descrito do processo, memória de cálculo dos equipamentos, balanço de massa e especificações de equipamentos. Como geralmente documentações de processo são atualizadas devido a adição e/ou alterações de novas etapas e equipamentos nos processos, visitas à estação foram realizadas para esclarecimento de dúvidas e aprofundamento no processo. Adicionalmente, os processos produtivos farmacêuticos que originam o efluente a ser tratado foram estudados, com a finalidade de estabelecer a caracterização do efluente.

As etapas de coleta de dados da análise de risco foram realizadas através de questionários eletrônicos. Dessa forma, para dar início a pesquisa, foi necessário cadastrar antecipadamente o projeto junto ao CONEP, passando pela aprovação do Comitê de Ética (CEP) do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho da UFRJ (HUCFF-UFRJ) e pelo CEP da instituição coparticipante onde o estudo de caso foi aplicado, recebendo a autorização de CAAE: 63116822.0.0000.5257. O termo de consentimento livre esclarecido (TCLE) utilizado durante a pesquisa consta no ANEXO B.

Após aprovação do projeto, a etapa de identificação dos riscos foi realizada através de uma análise preliminar de risco de acordo com a opinião dos especialistas da área de estudo e de todos os colaboradores envolvidos na planta de tratamento, dos quais quatro eram operadores e três engenheiros. Objetivando evitar opiniões que porventura poderiam sofrer influência de colaboradores de nível hierárquico elevado ou até mesmo persuasão, foi utilizado a técnica Delphi. A técnica Delphi é considerada um dos métodos mais adequados para a obtenção de opiniões com intuito de chegar a um consenso em pesquisas, pois a coleta das informações é realizada de forma anônima e separadamente para cada indivíduo (MARKOVIC, 2021). Desse modo, o anonimato permite que os participantes emitam suas opiniões de forma mais confortável, o que favorece opiniões consideradas relevantes e significativas que

talvez não ocorresse caso fosse dada frente às outras pessoas, diminuindo a subjetividade (GRACHT, 2012). A coleta das informações foi feita através de questionários sequenciais, onde os participantes responderam aos questionários de forma individual e as etapas consecutivas foram realizadas com o conhecimento da opinião dos participantes, de forma anônima, com a finalidade de chegar a um consenso ou quase consenso (NBR ISO 31010, 2019). As perguntas utilizadas constam no ANEXO B. Portanto, os questionários foram enviados aos especialistas e aos colaboradores da planta por meio eletrônico, sendo a coleta das opiniões analisadas para posteriores rodadas objetivando o consenso.

Um mapa de risco, que é sugerido pela NBR ISO 31010 e pela WHO (2016), para complementar outras ferramentas, auxiliou na aplicação para a classificação dos riscos, onde a faixa de cada classificação foi feita em consenso pela equipe multidisciplinar. O nível de risco de cada evento foi realizado através do produto entre a estimativa da ocorrência e a severidade associada a este evento. A ocorrência foi determinada em conjunto pela equipe multidisciplinar onde foi representado por uma faixa de números de 1 a 5, sendo o menor valor associado à menor ocorrência possível e o maior número associado à maior ocorrência. A severidade das consequências associadas ao evento foi tratada de forma semelhante. As descrições para todos os índices foram definidas de forma qualitativa e com base na literatura, de acordo com cada magnitude (CRAYLEY & TYLER, 2015). Portanto, visando à aproximação do tema associado a este trabalho, fez-se a adaptação das escalas e suas respectivas descrições das ocorrências de acordo com o trabalho de Falakh & Setiani (2018). Na Tabela 15 a seguir está apresentado as escalas e descrições escolhidas que foram adaptadas pelos especialistas do trabalho para a ocorrência de um evento e que foram utilizadas nesse trabalho.

Tabela 15 - Escala e descrição de ocorrência. Fonte: Adaptado de Falakh & Setiani, 2018

O C O R R Ê N C I A	Escala		Descrição
	1- Raro		Não irá ocorrer. Nenhuma ocorrência anterior. Se ocorrer será em circunstâncias excepcionais.
	2- Improvável		Pode ocorrer em algum momento. Chance de ocorrência menor ou igual a 25% e conhecimento de poucas ocorrências anteriores.
	3- Possível		Pode ocorrer em algum momento. Chance de ocorrência entre 25% e 50%, reportado em auditorias e de conhecimento de ocorrências anteriores.
	4- Provável		Provavelmente vai ocorrer na maioria das circunstâncias. Chance de ocorrência de 50% a 75%.
	5- Certo de Ocorrer		Vai ocorrer em todas as circunstâncias, com chance de mais de 75%. Conhecimento de ocorrências anteriores.

De forma similar, baseado no trabalho de Tuser & Oulehlová (2021), fez-se a adaptação das escalas e descrição das severidades e foi utilizado nesse trabalho (Tabela 16).

Tabela 16 - Escala e descrição de severidade. Fonte: Adaptado de Tuser e Oulehlová, 2021

	Escala	Descrição				
		Pessoal	Estrutural	Ambiental	Produto/Processo	
S E V E R I D A D E	1- Nenhuma		Sem danos à saúde dos colaboradores. Sem afastamento	Sem danos aos equipamentos e estrutura.	Sem impactos negativos ao meio ambiente.	Sem impactos na qualidade do efluente.
	2- Baixa		Pouco impacto aos colaboradores. Necessidade de afastamento.	Danos poucos significativos à estrutura. Apenas danos aos equipamentos.	Pouco danos ao meio ambiente.	Impactos insignificante à qualidade do efluente ou produto.
	3- Média		Danos à saúde dos colaboradores, com tratamento requerido por mais de 10 dias.	Danos moderados na estrutura e equipamentos.	Dano moderado ao meio ambiente.	Possível descumprimento de exigências regulatórias. Impacto no tratamento do efluente e do produto. Breve paralisação da planta.
	4- Alta		Danos significativos aos colaboradores (invalidez ou possibilidade de morte).	Dano estrutural significativo, afetando área ao redor.	Dano significativo ao meio ambiente.	Descumprimentos regulatórios e efluente não tratado. Paralisação prolongada.
	5- Catastrófica		Morte de colaboradores e invalidez.	Dano estrutural e danos aos equipamentos	Alto impacto ambiental.	Efluente não é tratado. Paralisação da planta.

Diferente do trabalho de Tuser & Oulehlová (2021) que descreveu os impactos de um modo geral, neste trabalho buscou-se avaliar separadamente os impactos relacionados às quatro categorias: impactos aos colaboradores envolvidos na atividade, estrutura, ambiente e ao produto e/ou processo. Dessa forma, foi possível estabelecer o nível de severidade de um evento de acordo com a consequência mais crítica dentre as quatro categorias.

Com a definição das escalas e descrições de ocorrência e severidade, elaborou-se a matriz de risco 5x5 apresentada na Tabela 17. A faixa para cada nível de risco sugerida foi baseada no trabalho de Falakh & Setiani (2018), onde é mostrada na matriz da Tabela 17 e Tabela 18. A faixa para cada nível de risco é mostrada na Tabela 19.

Tabela 17 - Matriz de risco proposta com as faixas. Fonte: Adaptado de Falakh & Setiani, 2018.

			SEVERIDADE				
			1	2	3	4	5
			Nenhuma	Baixa	Média	Alta	Catastrófico
O C O R R Ê N C I A	1	Raro	1	2	3	4	5
	2	Improvável	2	4	6	8	10
	3	Possível	3	6	9	12	15
	4	Provável	4	8	12	16	20
	5	Certo de ocorrer	5	10	15	20	25

Tabela 18 - Matriz proposta com nível de risco

			SEVERIDADE				
			1	2	3	4	5
			Nenhuma	Baixa	Média	Alta	Catastrófico
O C O R R Ê N C I A	1	Raro	Baixo	Baixo	Baixo	Moderado	Moderado
	2	Improvável	Baixo	Moderado	Moderado	Alto	Alto
	3	Possível	Baixo	Moderado	Alto	Alto	Inaceitável
	4	Provável	Moderado	Alto	Alto	Inaceitável	Inaceitável
	5	Certo de ocorrer	Moderado	Alto	Inaceitável	Inaceitável	Inaceitável

Tabela 19 - Faixa de nível de risco

Risco	Faixa
Baixo	1 a 3
Moderado	4 a 6
Alto	8 a 12
Inaceitável	15 a 25

Com isso, os riscos que obtiveram valor entre o produto da severidade e ocorrência entre 1 e 3 foi considerado como “baixo”, entre 4 e 6 como “moderado”, entre 8 e 12 como “alto” e 15 a 25 como “inaceitável”.

A priorização para o tratamento dos riscos, que foi utilizada para justificar a qualificação de determinado instrumento e equipamento, se deu pela presença de instrumentos ou controles que permitissem a identificação do risco, semelhante a metodologia utilizada no trabalho de Herrera *et.al* (2015) que utilizou o número de priorização de risco (NPR), integrado ao HAZOP para permitir a priorização dos riscos e tomadas de decisão em uma planta procariótica da indústria farmacêutica.

Portanto, buscou-se identificar através do produto entre a ocorrência e severidade os eventos de risco “inaceitável”, “alto” ou “médio” que pudessem ser monitorados por uma sonda ou controlado por uma malha de controle fazendo com que o critério do tratamento do risco fosse “médio” ou “baixo”, por exemplo. Ou seja, o critério para o tratamento de um risco “inaceitável” se torna suficientemente “médio” ou “baixo” por conta da possibilidade da identificação e monitoramento dele através de um instrumento. Dessa forma, o instrumento de identificação pode ser considerado crítico e sua qualificação priorizada, pois permite identificar um risco “inaceitável”, “alto” ou “moderado”. Na Tabela 20 são mostrados os níveis de detectabilidade e as respectivas descrições que foram utilizadas.

Tabela 20 - Níveis de detectabilidade. Fonte: Adaptado de Azar, 2017.

Escala		Descrição
D E T E C Ç Ã O	1- Nenhuma	Sem detecção. Não existe nenhum procedimento ou dispositivo de detecção. Sem possibilidade de detecção visual.
	2- Remota	Detecção remota. Detecção visual, manual e através de testes analíticos.
	3- Moderada	Detecção moderada. Presença de instrumentos de detecção.
	4- Elevada	Detecção elevada. Presença de instrumentos de detecção e malhas de controle.
	5- Alta	Será detectado automaticamente. Presença de alarme in loco e sala de controle, malhas de controle, intertravamento e instrumentos de detecção.

Vale ressaltar, que diferente dos índices da severidade e ocorrência, o índice para detectabilidade foi invertido. Ou seja, quanto maior a detectabilidade, maior será seu índice, assim como quanto mais difícil a possibilidade de detecção, menor o índice e maior o risco residual. Essa abordagem foi escolhida pensando no cálculo da pontuação para priorização de risco, que teve como referência os trabalhos de Szpak *et.al.* (2021) e Frattarola *et.al.* (2018) que baseados nas recomendações da WHO para Planos de Segurança de Sanitização (SSP), realizaram o cálculo para definir o critério para caracterizar a priorização do risco realizando o produto entre a severidade e ocorrência, e dividindo pela detectabilidade, ou seja, $P = (S \times O) / D$. O mesmo racional foi feito para este trabalho devido à proximidade com o tema estudado, sendo as faixas utilizadas para priorização dos riscos apresentados na tabela a seguir.

Tabela 21 -Pontuação para priorização de risco

Critério	Faixa
Alto	$9 \leq \text{Pontuação} \leq 25$
Médio	$5 \leq \text{Pontuação} < 9$
Baixo	$0,20 \leq \text{Pontuação} < 5,0$

Com todos os níveis de riscos estabelecidos e após a análise preliminar realizada, cada questionário foi relacionado a um nó de estudo. Um exemplo do modelo de questionário utilizado se encontra no ANEXO D. Para isso, estabeleceu-se o envio de um questionário, referente a cada nó, para os participantes com tempo de duração de duas semanas, sendo enviado a cada

dois dias uma mensagem lembrando o pedido de participação. No total foram realizados dezenove questionários, um para análise preliminar e dezoito para os nós de estudo. Ao término do prazo de duas semanas os dados do formulário enviado foram compilados e analisados de acordo com as respostas dos participantes e em seguida outro nó era analisado com o envio de outro formulário, sendo repetido este racional até os questionários terminarem. Os dados foram transferidos para uma planilha de HAZOP com matriz de risco, onde foi feita a avaliação. O modelo da planilha se encontra no ANEXO C. As respostas com maior porcentagem dos níveis de “ocorrência”, “severidade” e “detectabilidade” para um evento foram consideradas para serem inseridas na planilha. Nos casos em que a porcentagem foi a mesma para as opções, foi considerado o pior caso. De forma semelhante, as causas, consequências e recomendações foram descritas na planilha em ordem de prioridade de acordo com a porcentagem obtida após resultados dos questionários. Ao término de cada questionário, foi feito um compilado com o resumo dos resultados, onde foi feita a análise da presença dos instrumentos existentes para cada desvio identificado no nó e uma lista dos instrumentos que deveriam ser priorizadas na qualificação para cada etapa. Adicionalmente, como fruto da análise de risco, foram sugeridas ações e recomendações para todos os riscos classificados como “moderado”, “alto” e “inaceitável”.

5.4. Tratamento Estatístico dos Dados Coletados

O programa Excel® foi utilizado como ferramenta para a elaboração da planilha HAZOP, a fim de avaliar o nível de risco das etapas de processo, o cálculo da pontuação e o critério de priorização de risco de forma automatizada. A ferramenta também foi utilizada para o estabelecimento da distribuição dos riscos para cada etapa, cálculo da porcentagem da aderência ao estudo e cálculo da média das pontuações para cada nó. Os resultados obtidos foram utilizados para a elaboração dos gráficos que suportaram a discussão dos resultados.

Após análise desses indicadores de forma individualizada, foi realizado o cálculo do coeficiente de Correlação de Spearman através do programa jamovi® a fim de identificar a existência de associação entre as variáveis descritivas de “ocorrência”, “severidade”, “detectabilidade” e “pontuação”. O Coeficiente de correlação de Spearman é um teste não paramétrico utilizado para medir a

correlação entre variáveis quando pelo menos uma das variáveis é qualitativa ou não tenha distribuição normal de seus dados. Entende-se como distribuição normal aquela distribuição onde a média se encontra no centro da distribuição das amostras, formando um gráfico em forma de sino ou gaussiana. Portanto, para entendimento da distribuição dos dados, fez-se o teste de Shapiro-Wilk utilizando o software jamovi®, onde para valores de Shapiro Wilk acima de 0,05 a distribuição é considerada normal (SHAPIRO & WILK.,1965).

A equação utilizada para o cálculo do Coeficiente de Spearman é mostrada na Equação 1.

Equação 1 - Coeficiente de Correlação de Spearman

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Onde, n é o número de correlações entre as variáveis X_i , Y_i e d_i é diferença entre x_i e y_i , onde x_i e y_i é o ranqueamento da variável em seu respectivo conjunto de dados. O valor de ρ identifica o grau de correlação entre as variáveis, que sempre está entre -1 e 1, podendo ser, portanto, uma associação negativa ou positiva. Segundo Yan *et.al.* (2019) o grau de associação pode ser classificado conforme tabela abaixo:

Tabela 22 - Faixas de grau de correlação do coeficiente de Spearman. Fonte: Yan *et.al.*, 2019

Faixa	Grau de correlação
$\rho = 0$	Sem correlação
$0 < \rho \leq 0,19$	Correlação muito fraca
$0,20 \leq \rho \leq 0,39$	Correlação fraca
$0,40 \leq \rho \leq 0,59$	Correlação moderada
$0,60 \leq \rho \leq 0,79$	Correlação forte
$0,80 \leq \rho \leq 1,0$	Correlação muito forte

Adicionalmente, foi realizado a estatística descritiva dos dados realizado com a inserção das estimativas de “ocorrência”, “severidade”, “detectabilidade” e “pontuação” de cada evento como dados de entrada no software jamovi®.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Estado da arte e análise temporal

O resultado em relação ao número de artigos, de acordo com a metodologia proposta para cada combinação de palavras-chave, é mostrado na Tabela 23.

Tabela 23 - Número de artigos por palavras-chave portal CAPES

Palavras-chave	Número de artigos
<i>risk analysis wastewater treatment pharmaceutical industry</i>	367
<i>risk assessment pharmaceutical industry</i>	3893
<i>risk assessment wastewater treatment plant</i>	3758
<i>risk assessment wastewater pharmaceutical industry</i>	530
<i>risk management wastewater pharmaceutical industry</i>	547
<i>risk management wastewater treatment pharmaceutical industry</i>	400
<i>risk management wastewater treatment plant</i>	4922

Observa-se, de acordo com a tabela acima, grande quantidade de artigos relacionados ao tema. Vale ressaltar que muitos dos artigos encontrados estão inseridos em mais de uma combinação de palavras-chave selecionada. Como foi obtido quantidade significativa de artigos, fez-se a mesma pesquisa em outras bases de dados, conforme esquema da Figura 8. Dessa forma, foram realizadas as buscas nas bases de dados SCOPUS, Web of Science, PubMed e Google Scholar para fins de comparação com os resultados obtidos pela CAPES. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 24 a seguir.

Tabela 24 - Número de artigos por palavras-chave em diferentes bases de dados no intervalo de 10 anos

Palavras-chave	Scopus	CAPEs	Web of Science	Pub Med	Google Scholar
<i>risk analysis wastewater treatment pharmaceutical industry</i>	37	367	36	54	16500
<i>risk assessment pharmaceutical industry</i>	953	3893	771	2022	109000
<i>risk assessment wastewater treatment plant</i>	1531	3758	1973	1425	18300
<i>risk assessment wastewater pharmaceutical industry</i>	45	530	95	48	18300
<i>risk management wastewater pharmaceutical industry</i>	38	547	30	37	16900
<i>risk management wastewater treatment pharmaceutical industry</i>	32	400	25	31	18000
<i>risk management wastewater treatment plant</i>	1220	4922	888	893	20700

A seguir é mostrado graficamente, Figura 9, os resultados obtidos na Tabela 24 para melhor visualização e análise dos resultados.

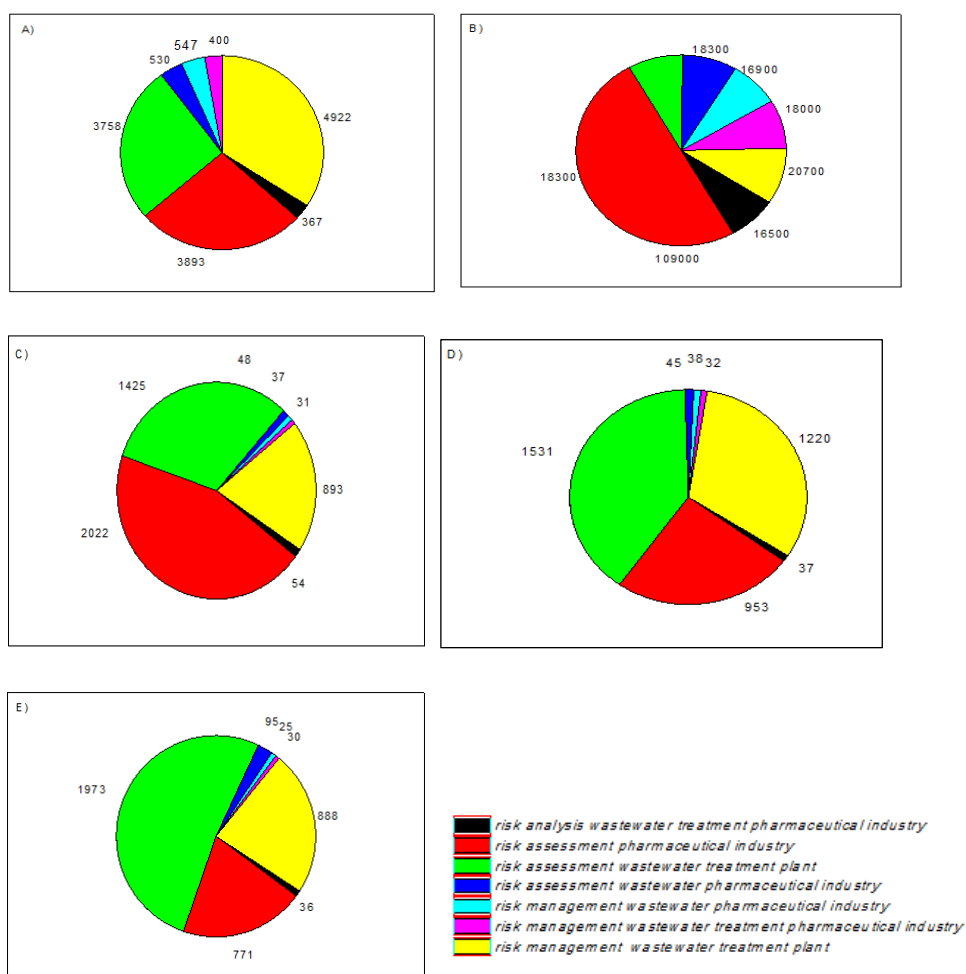


Figura 9 – Pesquisa em diferentes bancos de dados. A) CAPES; B) Google Scholar; C) PubMed; D) Scopus; E) Web of Science. Fonte: Elaboração própria, 2022

É possível observar, pela Figura 9, que os três conjuntos de palavras que constituem os maiores números de artigos em cada base de dados são as combinações: “risk assessment pharmaceutical industry”, “risk management wastewater treatment plant”, “risk assessment wastewater treatment plant”. Percebe-se que dos três conjuntos, apenas uma contém palavras que resgatam a indústria farmacêutica, mas que não inclui os processos de tratamento de efluentes desse setor. Apesar disso, os resultados indicam a importância da avaliação de risco para a indústria farmacêutica, principalmente na utilização de ferramentas para auxílio do gerenciamento de riscos da qualidade. Um exemplo é o trabalho de Johnson *et.al.* (2012), que buscando atender os requisitos da FDA, que exige análise de perigos nos equipamentos e/ou instrumentos da área médica, utilizou ferramentas de análise de risco em um estudo de caso para identificar e avaliar os riscos associados aos equipamentos envolvidos no desenvolvimento e formulação de medicamentos. Neste trabalho os autores utilizaram diferentes ferramentas de análise, como PHL (*Preliminary Hazard List*), PHA (*Preliminary Design Hazard Analysis*), FuHA (*Functional Hazard Analysis*) e FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), apresentando como resultados a identificação de perigos em quatro categorias: operação, ambiental, equipamento e humano. Com o trabalho, foi possível identificar seis perigos associados ao sistema que foram priorizados após a aplicação das ferramentas para serem tratados e mitigados.

Avaliando os resultados obtidos através da leitura dos artigos utilizando os conjuntos de palavras-chave “risk management wastewater treatment plant”, “risk assessment wastewater treatment plant” percebeu-se que grande parte do conteúdo reflete preocupação dos pesquisadores em relação aos impactos ambientais causados por falhas no tratamento de efluentes industriais e residenciais. Trabalho de Asgarian *et.al.* (2017) mostrou a importância da segurança operacional para o tratamento de efluentes, objetivando identificar e conhecer as vulnerabilidades das etapas envolvidas na planta que pudessem afetar diretamente o meio ambiente. Para tal, os autores realizaram um estudo

utilizando ferramentas de análise de risco integrando o método *fuzzy* para tomadas de decisão e priorização dos riscos. Além disso, artigos associados ao auxílio de análise de risco para reutilização de efluentes tratados em indústrias também foram encontrados, o que demonstra e reflete a busca por processos mais sustentáveis no mundo, como trabalho de Analouei *et.al.* (2020), que através de análise de risco avaliou os perigos associadas a reutilização da água em equipamentos industriais.

Após estes resultados, foi feita a análise temporal nas bases de dados Scopus, PubMed e Web of Science para os três conjuntos de palavras-chave que obtiveram os maiores resultados em número de artigos, visando identificar sua evolução no intervalo de tempo escolhido.

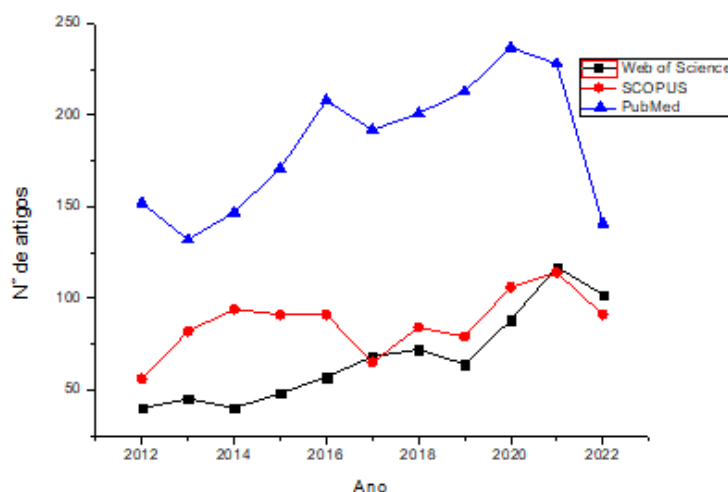


Gráfico 1-Análise temporal utilizando "risk assessment pharmaceutical industry". Fonte: Elaboração própria, 2022.

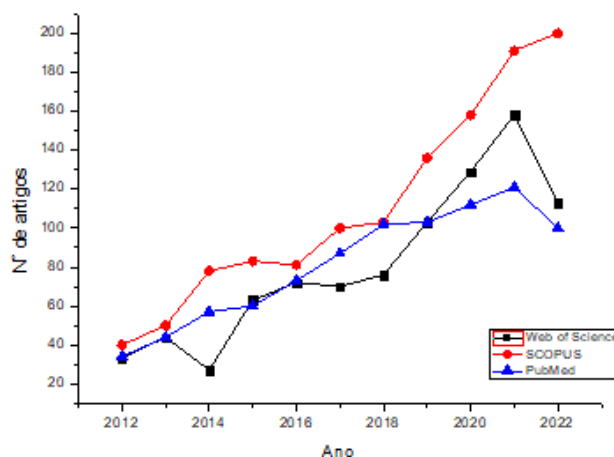


Gráfico 2 - Análise temporal utilizando "risk management wastewater treatment plant". Fonte: Elaboração própria, 2022.

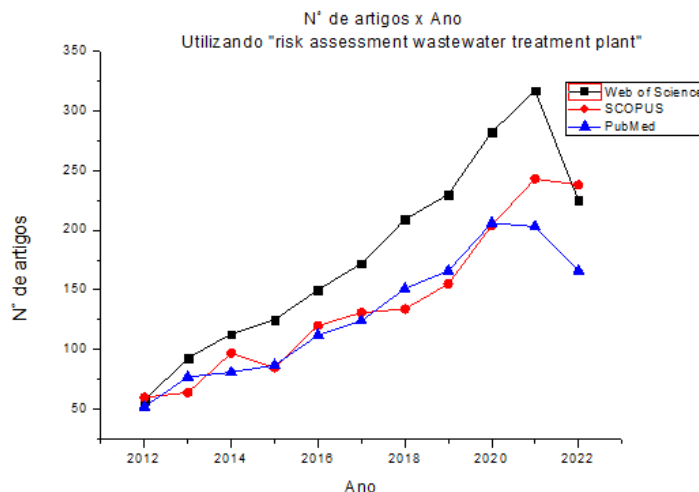


Gráfico 3 - Análise temporal utilizando "risk assessment wastewater treatment plant". Fonte: Elaboração própria, 2022.

Os resultados indicam comportamento crescente nos últimos 10 anos em relação às publicações associadas aos conjuntos de palavras-chave em questão nas três bases de dados escolhidas. Pode-se inferir, através desse comportamento, aumento da atenção voltada para a gestão de riscos nas estações de tratamento de efluentes industriais no decorrer dos anos, conforme mostra Gráfico 2 e Gráfico 3. A justificativa para essa evolução possivelmente se deve a expansão da população mundial e a conscientização ambiental, assim como a expansão do setor industrial, que conseqüentemente aumenta o volume de resíduos sólidos e líquidos que precisam ser tratados. Alinhado a isso, alguns desses resíduos são considerados perigosos à saúde humana e ambiental, como metais pesados, fertilizantes, corantes, pesticidas e produtos oriundos da indústria de cosméticos e farmacêutica (RATHI *et.al.*, 2021). Logo, acompanhado do desenvolvimento industrial, há o aumento da preocupação do tratamento adequado dos resíduos gerados. Já a presença do gerenciamento de risco nos processos produtivos da indústria farmacêutica se mostra cada vez mais crescente, conforme Gráfico 1, o que se mostra consistente devido à preocupação a gestão de risco a qualidade, reforçada pelo guia ICH Q9, que prega que a gestão de risco a qualidade representa uma iniciativa que pode ser interpretada como uma atividade proativa, preventiva, preditiva e previsível dentro da indústria farmacêutica (ICH Q9, 2005) .

Objetivando avaliar os resultados de forma mais restritiva, considerando as combinações que palavras-chave que envolvessem "risco", "tratamento de

efluente” e “indústria farmacêutica”, foi feita a mesma análise anterior. Para isso, utilizou-se as seguintes combinações: “análise de risco no tratamento de efluentes indústrias farmacêuticas”, “gestão de riscos para tratamento de efluentes de indústria farmacêutica” e “avaliação de risco para tratamento de efluente de indústria farmacêutica”. Como resultado, percebe-se diminuição significativa no número de artigos, conforme Figura 9, o que é consistente pelo fato das combinações de palavras estarem mais restritivas às estações de tratamento de efluente de indústria farmacêutica, com foco em análise de risco. Com o intuito de analisar a evolução de publicações nesse intervalo de tempo utilizando as combinações de palavras citadas anteriormente, as bases de dados Scopus, PubMed e Web of Science.

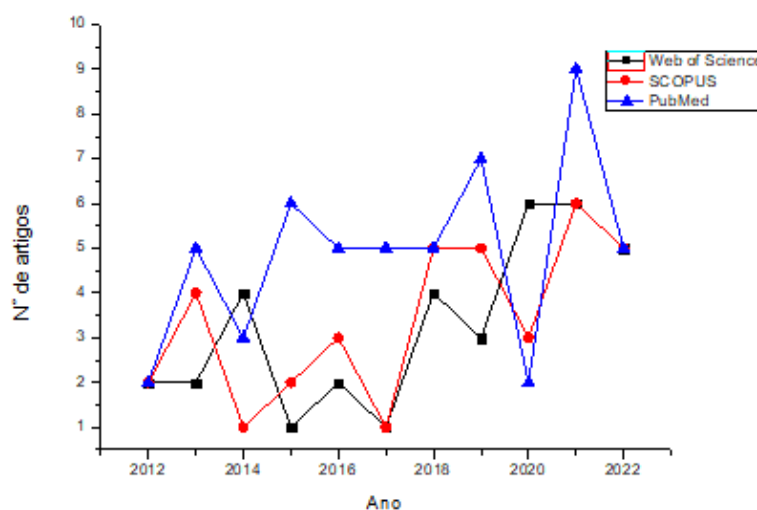


Gráfico 4- Análise temporal utilizando "risk analysis wastewater treatment pharmaceutical industry".
Fonte: Elaboração própria, 2022

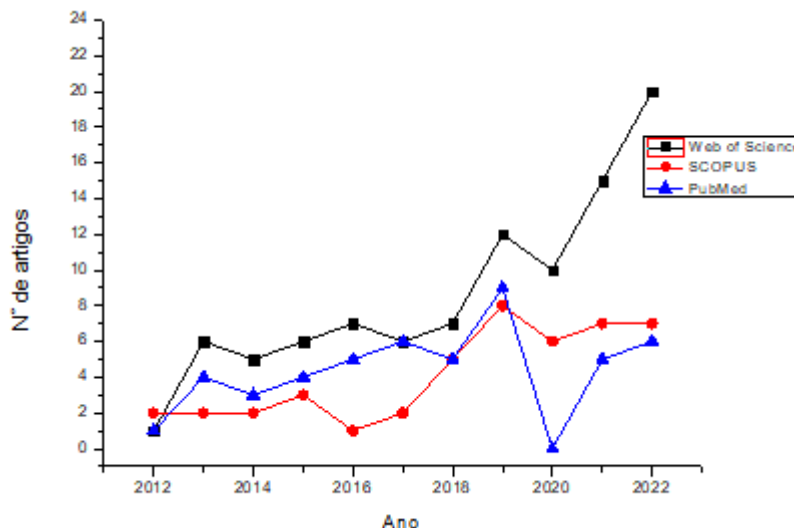


Gráfico 5 - Análise temporal utilizando "risk assessment wastewater pharmaceutical industry". Fonte: Elaboração própria, 2022

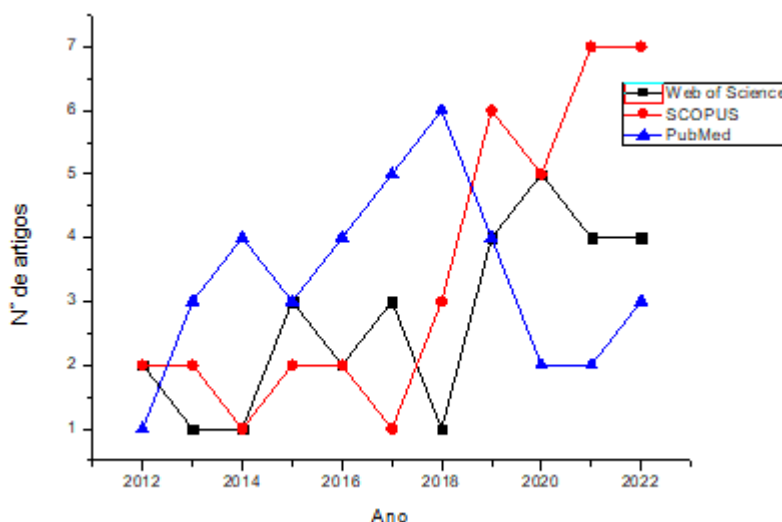


Gráfico 6 - Análise temporal utilizando "risk assessment wastewater pharmaceutical industry". Fonte: Elaboração própria, 2022

De acordo com os gráficos apresentados anteriormente, apesar das curvas apresentarem variações consideráveis nas quantidades de artigos durante o decorrer dos anos, é possível identificar ligeiro aumento e publicações a partir do ano de 2017 nas bases de dados utilizadas e considerando as combinações de palavras-chave escolhidas. Com exceção das curvas em azul, associada à base de dados da PubMed, o comportamento das outras curvas (preta e vermelha) se mostram com variações menos acentuadas e com tendência de crescimento. Isso mostra que apesar de variações, há um avanço em relação a análise de risco nas estações de tratamento de efluentes de indústria farmacêutica, possivelmente com o objetivo de auxiliar ao atendimento

de exigências regulatórias, acompanhando o surgimento de novos produtos. Entretanto, os trabalhos encontrados são de natureza experimental em relação aos impactos causados por produtos farmacêuticos no meio ambiente na saúde humana e não baseado em análise de risco para prevenção de desvios de processo e operacionalidade na estação de tratamento de efluente, como comumente é encontrada nos setores petroquímicos e de óleo e gás. Portanto, do ponto de vista do setor farmacêutico, percebe-se que as ferramentas de análise de risco poderiam ser mais incentivadas e implementadas a jusante de seus processos, objetivando medidas a serem implementadas para tratamento e mitigação de riscos de acordo com a identificação mapeamentos de suas vulnerabilidades.

Visando identificar os países líderes de publicação com relação ao tema e as palavras-chave utilizadas anteriormente, utilizou-se a base de dados Scopus. O Gráfico 7 mostra a distribuição de publicação em relação ao gerenciamento e avaliação de risco na indústria farmacêutica.

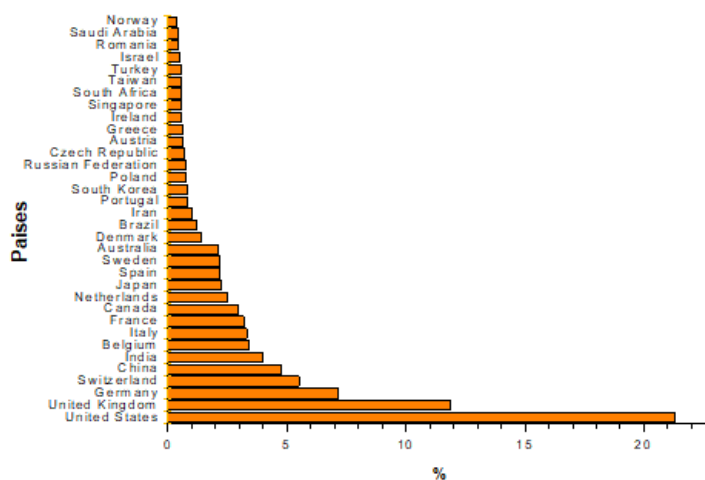


Gráfico 7- Países líderes de publicação utilizando "risk assessment pharmaceutical industry"

De acordo com os resultados, observa-se que os países desenvolvidos são responsáveis por praticamente a metade das publicações no decorrer dos últimos dez anos, sendo os Estados Unidos o destaque. Trabalho realizado pela Federação Europeia da Indústria Farmacêutica e Associações (EFPIA) mostrado na Figura 10 corrobora com os dados apresentados, indicando que o desenvolvimento tecnológico, alinhado à demanda e ao incentivo ao setor farmacêutico, aumenta a preocupação ao atendimento dos requisitos de

qualidade que devem estar suportadas por um gerenciamento de risco.

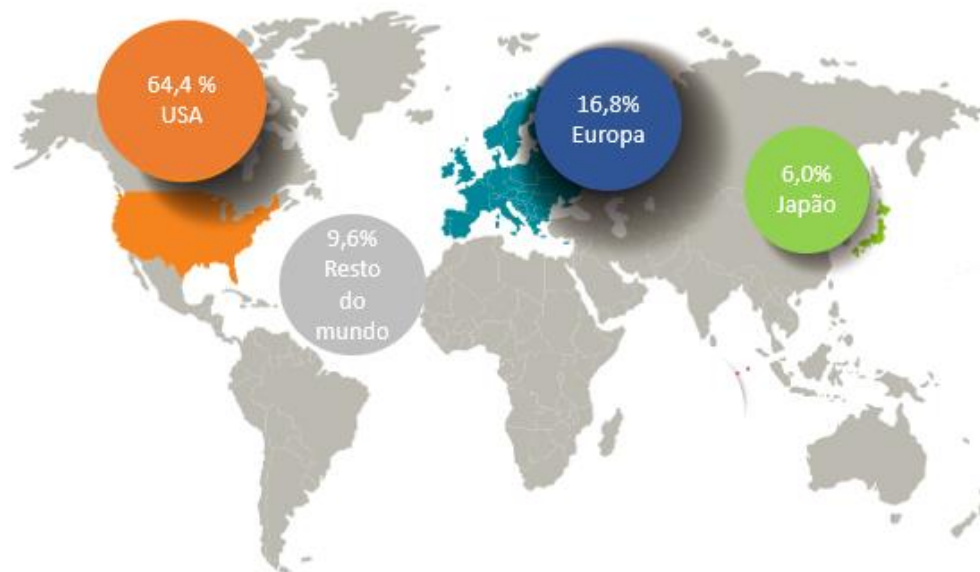


Figura 10 - Países responsáveis pelas vendas de novos produtos farmacêuticos (2016 - 2021). Fonte: Adaptado de EFPIA,2022.

Ao restringir mais a análise, verifica-se comportamento semelhante na distribuição de acordo com as combinações de palavras-chaves. Os resultados indicam a China como o país líder em publicações no que diz respeito a análise de riscos associados ao tratamento de seus efluentes industriais farmacêuticos, acompanhado em seguida pelos países desenvolvidos, como Espanha, Estados Unidos, Inglaterra e França. A posição de destaque da China vai de encontro, além da grande população, à preocupação dos impactos ambientais associados historicamente aos seus processos produtivos industriais de diversos setores. Paralelo a isso, deve-se ressaltar o carecimento de exigências mais rigorosas em relação aos impactos ambientais associado a indústria farmacêutica chinesa. Um exemplo é uma política governamental de redução de poluição do ar e de efluentes líquidos abaixo de 30% do padrão estabelecido em troca de redução de taxas que somente foi aplicada na indústria farmacêutica em 2018 (JAYAKUMARAN, 2019).

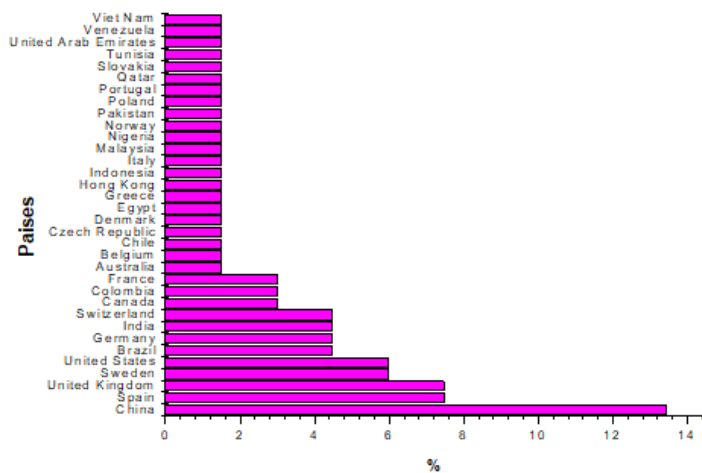


Gráfico 8- Países líderes de publicação utilizando "risk analysis wastewater treatment pharmaceutical industry"

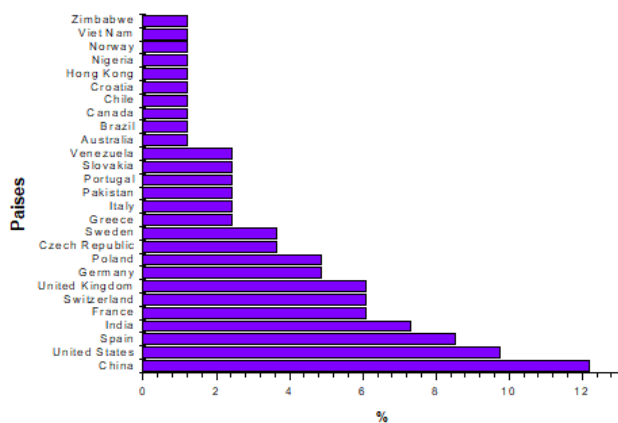


Gráfico 9- Países líderes de publicação utilizando "risk assessment wastewater pharmaceutical industry "

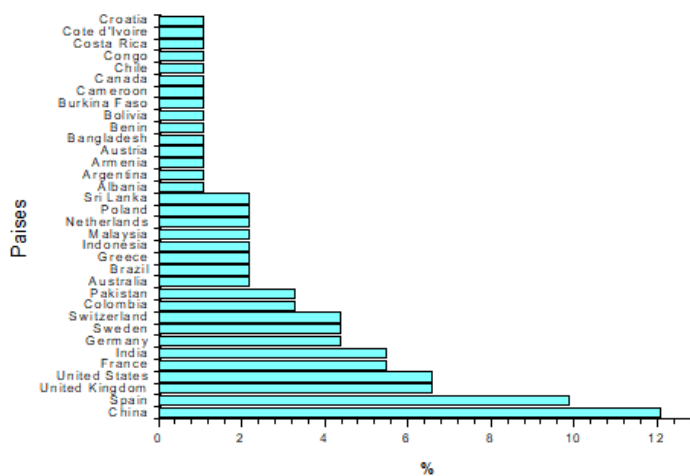


Gráfico 10 - Países líderes de publicação utilizando "risk management pharmaceutical industry"

Objetivando uma análise mais ampla e a comparação dos resultados

obtidos através das bases de dados utilizadas, o Google Scholar foi utilizado para realizar buscas de literatura cinza com as mesmas combinações de palavras chaves. Foram selecionados 100 trabalhos, dos quais foram considerados trabalhos completos de anais de congresso, resumos e artigos. A Figura 11 mostra a distribuição do quantitativo de trabalhos por países.

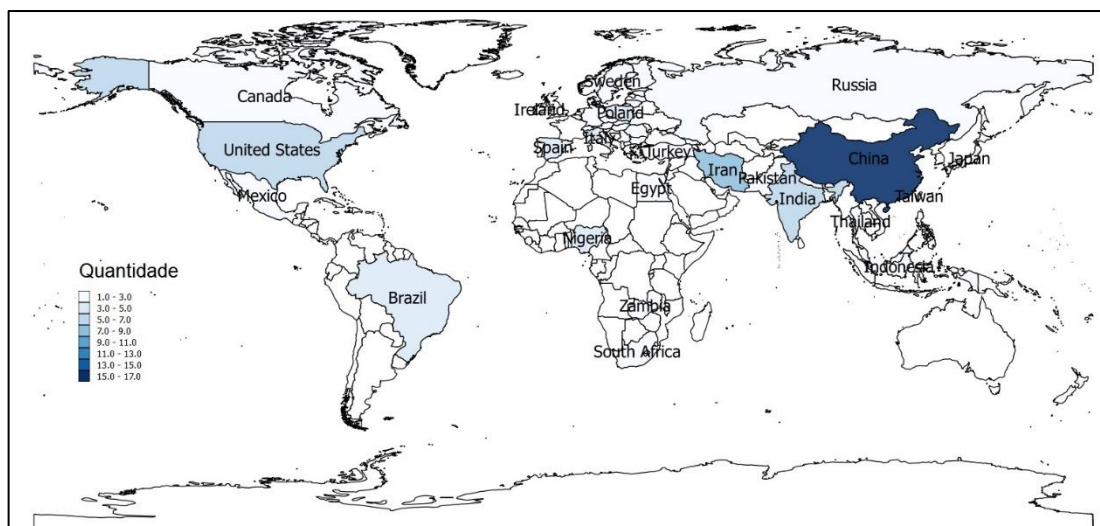


Figura 11 - Distribuição de literatura cinza por regiões. Fonte: o autor, 2023.

Os resultados anteriores corroboram com os resultados obtidos anteriormente no que diz respeito à posição da China em relação ao número de publicações de artigos. Entretanto, sob o ponto de vista das publicações consideradas literatura cinza, observa-se a aparição de países em desenvolvimento e subdesenvolvidos da Ásia e África, como Paquistão, África do Sul, Nigéria e Irã, por exemplo. Estes resultados indicam relação com aspectos socioeconômicos. O trabalho de Wilkinson *et.al* (2021) reforça esse argumento, pois revelou que as regiões da África e Ásia que possuem infraestrutura e gerenciamento precários para o tratamento de seus resíduos líquidos tiveram maiores resultados de concentração cumulativa de IFA encontrados em seus rios, conforme Gráfico 11.

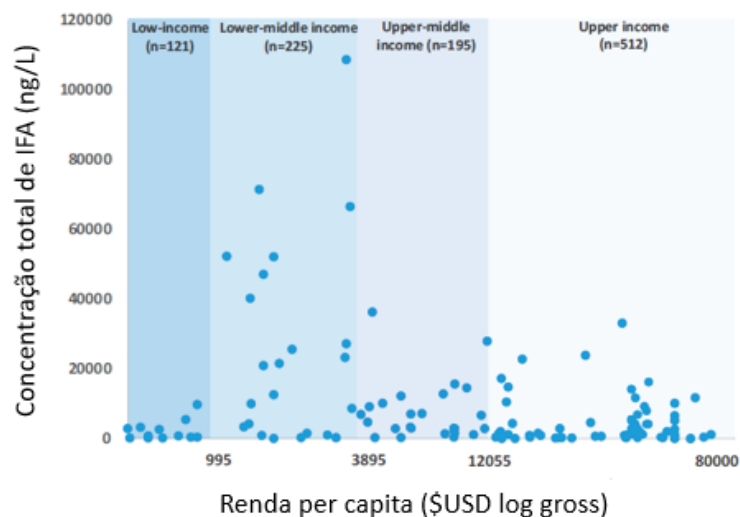


Gráfico 11 – Concentração cumulativa de IFA por renda per capita. Fonte: Wilkinson *et.al*, 2021.

Dessa forma, a contaminação dos rios com a condição socioeconômica das regiões reflete as publicações na literatura cinza nessas regiões, indicando preocupação dos pesquisadores em relação a esse tema em seus países.

A seguir é feita uma análise baseada nas publicações focadas no gerenciamento e análises de riscos associados ao tratamento de efluentes industriais de um modo geral, buscando analisar e identificar sua importância para o tema, assim como o uso das ferramentas de análise de risco para outras finalidades.

6.1.1. Análise dos Artigos

Trabalho realizado por Trávníček *et.al* (2021) mostra em um intervalo de 20 anos, mais precisamente entre 1989 e 2019, a existência de 232 acidentes catalogados em plantas de tratamento de efluentes na Europa. Os autores mostraram que as consequências associadas aos acidentes encontrados atingem em 58% dos casos o meio ambiente, sendo os principais impactados o solo, ar e água. De acordo com o trabalho, os impactos no ar foram associados a explosões provenientes dos acidentes, enquanto na água houve morte de peixes e contaminação com FeCl_3 e AlCl_3 , assim como o solo. Além disso, a contaminação do corpo receptor e do solo com micros poluentes são exemplos dessas consequências dos acidentes. Isso mostra o grande impacto que existe caso um evento inesperado ocorra em uma estação de tratamento de efluentes, tanto para o meio ambiente quanto para a população, consequentemente. De

acordo com a pesquisa, os acidentes se manifestaram em diferentes etapas do processo, desde equipamentos como bombas, sistemas de energia, problemas nas tubulações, tanques, sistema de lodo entre outros. De acordo com o autor, as causas dos acidentes foram desde erro humano até eventos inesperados de clima. Entretanto, um fator interessante no trabalho mostra que 45% das causas dos acidentes estão associadas a falhas de estruturas e instrumentos, sendo as estruturas entendidas como por exemplo vazamentos de tubulações e tanques, e instrumentos com falhas de sensores de nível, sistemas de controle e instrumentos de medições. Logo, é evidente a importância desses instrumentos estarem funcionando adequadamente para se evitar acidentes, mostrando atenção para as etapas desde sua instalação, verificação do funcionamento e manutenção desses instrumentos. Vale ressaltar que o autor utilizou para auxiliar em sua pesquisa a ferramenta *Fishbone* ou Espinha de Peixe, mostrando também a importância da ferramenta.

Log-Pilch e Zakrzewska (2020) realizam um trabalho semelhante, sendo o período de análise mais curto, de 3 anos, de 2014 a 2016 através de um estudo de caso em uma planta municipal da Alta Silésia na Polônia que trata o efluente de 62.000 habitantes. Os autores buscavam através de uma análise de risco identificar pontos de modernização, reparo e melhoria na planta de tratamento. Do ponto de vista de modernização, poderia ser sugerido pontos de reparo em equipamentos, implementação de novas tecnologias no processo e instrumentos mais modernos. Para tal, foi realizado uma análise de risco semiquantitativa, onde foi realizado uma classificação do tipo risco, podendo ele ser qualitativo, operacional, ecológico ou financeiro e implementado um mapa de risco onde se tinha a hierarquização dos riscos (risco aceitável, tolerável e inaceitável). Dados históricos da planta foram coletados a fim de estabelecer a frequência em que ocorreram os eventos. Como resultados, foram identificados eventos associados a diversas etapas do processo de uma estação de tratamento, sendo os mais frequentes nas etapas de lodo ativado, etapa de gradeamento e decantador secundário. Foram identificados 32 eventos no intervalo de 3 anos, ocorrendo 114 vezes. Com a análise realizada, 30 eventos foram considerados como risco aceitável, que ocorreram 72 vezes, e 2 eventos de risco tolerável. Riscos considerados toleráveis necessitam de uma resposta ou plano de ação, não

necessitando ser imediata. Dentre os 2 eventos citados, um ocorreu na etapa de lodo ativado com a presença de bactérias filamentosas e outro evento estava associado a um problema de energia elétrica. O surgimento da bactéria filamentosa foi devido a uma tentativa de melhoria do processo com a mudança de condições de trabalho que não foi precedida de uma análise de risco. Apesar de resultados positivos em relação ao estudo de caso, foi constatado a importância da implementação de gerenciamento de risco para o processo em questão, principalmente associada ao controle de mudanças do processo.

Resultados bastante divergentes foram encontrados por Tuser e Oulehlova (2021), que fizeram um estudo de caso em uma estação de tratamento de pequeno porte na Eslováquia, que trata efluente de 2.123 habitantes. Os autores se basearam à risca nas diretrizes da ISO 31000, realizando dessa forma a identificação dos riscos, a análise, a avaliação e o tratamento dos riscos, chamando a atenção para a singularidade dos impactos ambientais, a saúde e a população que as estações de tratamento possuem. Foram identificados 58 riscos potenciais, sendo eles incluídos em grupos de riscos tecnológicos, de saúde, naturais e riscos provenientes de falhas humanas. Riscos como mau funcionamento da bomba de lodo, falhas de software, vazões fora da especificação são um dos exemplos encontrados. Na etapa de análise de risco foram definidas as probabilidades de 1 a 5 e as expressões utilizadas como probabilidade baixa, alta, média, alta e muita alta, assim como os impactos dos desvios encontrados, também de 1 a 5, sendo o impacto mais brando denominado de marginal e o mais severo de catastrófico. O nível de risco foi então determinado através de uma matriz 5x5 sendo o menor nível negligenciável e o maior nível inaceitável. A técnica utilizada foi a *Bowtie*, que é um diagrama que ilustra as possíveis causas de um evento, assim como seus impactos. Após a análise foi feita a avaliação dos riscos, onde foram identificados 11 riscos inaceitáveis e 25 indesejáveis, sendo os outros aceitáveis e negligenciáveis. Com a avaliação realizada, recomendações foram feitas para mitigação dos riscos, chamando a atenção para os riscos associados à distração dos colaboradores, possibilidade de contração de doenças infecciosas, dentre outros, que não estão relacionados a etapas do processo, mas sim aos procedimentos tomados pelos colaboradores. Risco de choques elétricos,

poluição do solo, vazamentos, aumento do adensamento do lodo são exemplos de riscos inaceitáveis encontrados.

Assim como no trabalho citado anteriormente, Analouei *et.al.* (2020) realizaram um trabalho semelhante utilizando a técnica *Bowtie*. O foco principal dos autores no trabalho foi avaliar através da técnica a possibilidade da reutilização do efluente industrial tratado em uma planta de tratamento no centro do Irã com capacidade de tratar 1000 m³/dia, visto que o complexo industrial objetivava a redução de custos em relação ao fornecimento de água. A planta de tratamento do estudo era formada por duas etapas principais, onde a primeira incluía a etapa de tratamento primário e secundário e a posterior uma etapa de tratamento avançado objetivando a recuperação dos efluentes para ser utilizado em outras etapas industriais. Atendendo aos requisitos necessários, o efluente tratado pode ser utilizado em torres de resfriamento, trocadores de calor e em água de processos. Entretanto, falhas no tratamento do efluente podem ocasionar nesses equipamentos fenômenos de sedimentação, incrustação, corrosão e formação de biofilme. De acordo com os resultados, chegou-se a uma conclusão de que a planta tem uma confiabilidade de 58,6 %. Ou seja, apresenta 41,4% de risco de ocorrer alguma violação dos parâmetros e limites adequados para o efluente a ser tratado. O erro humano foi considerado o principal fator associado a este risco, com 55% de contribuição. Paralelamente, o desenho da planta teve uma contribuição de 25 %, enquanto a falta de equipamento e serviços teve contribuição por volta de 20% da possibilidade de ocorrer um evento inesperado. Com o trabalho foi possível gerar recomendações para mitigar os riscos, como aumento do conhecimento técnico dos colaboradores envolvidos nas atividades, uso de monitoramento online e níveis de detecção de eventos melhores, manutenção regular dos equipamentos e investimento nos laboratórios para avaliação da qualidade do efluente.

Falakh *et.al.* (2018) mostrou em seu trabalho a utilização da técnica de análise de risco HIRA (*Hazard Identification Risk Assessment*), uma técnica semi-quantitativa, através de um estudo de caso em uma planta de tratamento de água na Indonésia. No trabalho, o autor conseguiu identificar 22 potenciais perigos na planta de tratamento de água, sendo 10 riscos médios, 9 com alto risco e 2 com risco extremo. Apenas 1 risco foi considerado baixo. Isso mostra

que dependendo do processo a ser analisado a distribuição dos riscos diferem bastante. Diferente de estações de tratamento de efluentes municipais, estações de tratamento de água tratam água utilizada em processos químicos que podem contêm contaminantes químicos bastante perigosos. No trabalho em questão, a possibilidade de vazamento de cloro, apesar de apresentar a chance de ocorrência média, ofereceu alta severidade, pois poderia levar a consequências fatais após inalação e contato. Foi considerado também como risco extremo a chance de haver curto-circuito na sala de controle, que pode gerar consequências ao processo e a segurança dos colaboradores. Fator interessante no trabalho de Falakh (2018) é que foram considerados também riscos ergonômicos, como a limpeza manual de determinados equipamentos que exigem confinamento, riscos as atividades que são realizadas em altura, exposição aos ruídos de equipamento, dentre outros.

Outro trabalho utilizando a mesma técnica foi aplicada por Tron (2021). Em seu trabalho, Tron (2021) fez um estudo de caso na planta de tratamento localizada em Di Na, Vietnã, que foi lançada em 2013 com intuito de tratar o efluente gerado por 381.000 com uma capacidade de 20000 m³/dia pessoas que vivem naquela cidade, visando a saúde da população e proteção ambiental. Apesar disso, a planta não apresentava nenhuma avaliação dos potenciais riscos, fato este que geralmente ocorre com novas plantas que por serem novas e com novas tecnologias, não possuem riscos associados aos seus processos e a mesma é negligenciada. Após aplicação da ferramenta, foram identificados 18 potenciais perigos na estação de tratamento. Dentre os 18 potenciais perigos, 4 foram considerados como riscos extremos. Chama-se atenção para ruído da bomba, que apesar de apresentar uma consequência branda, com efeitos temporários aos colaboradores, foi considerada com frequência alta, aumentando o seu respectivo nível de risco. Este resultado é importante, pois apesar da planta ser considerada recente, a análise demonstra a existência de equipamentos que necessitam de manutenção. A exposição dos colaboradores aos odores e trabalho realizado em altura também foram considerados como riscos extremos, pois podem causar sérios efeitos e até serem fatais. Em resumo, 22% dos riscos foram considerados extremos, 33% tiveram risco alto, 39% com risco médio e apenas 6% com risco baixo. O resultado permitiu

recomendações a serem implementadas pelos líderes da planta objetivando evitar acidentes futuros.

A utilização de técnicas mais robustas e ferramentas complementares, também se mostraram presentes na literatura. Shinta *et.al.* (2019), por exemplo, viram a necessidade de realizar uma avaliação de risco no Leste de Java, na Indonésia, realizando um estudo de caso. A preocupação dos autores era que o crescimento econômico também vem acompanhado do crescimento do setor industrial, que inevitavelmente gera mais efluente a ser tratado. A qualidade da água proveniente de dados do Departamento Ambiental mostrou que a qualidade da água dos rios de Java, que são o corpo receptor do efluente tratado, diminuiu com o crescimento das atividades industriais e consumo acelerado da população. Dessa forma, a estação precisava se adequar a uma maior capacidade de tratamento, além de estar preparada para diferentes cenários. Para tal, Shinta (2019) utilizou a técnica *Fishbone* ou espinha de peixe. Foram listados potenciais problemas associados a três grandes categorias: origem humana, manutenção e performance da unidade. Após realizada esta análise, os dados foram alimentados na técnica FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), que avalia a possibilidade de falha do sistema, processo ou instrumento de estudo. Foram avaliados 33 modos de falhas, sendo eles listados e ranqueados de acordo com seu respectivo número de priorização. Como resultado, o primeiro da lista a ser priorizado foi o modo de falha associada à gravação dos dados da sala de controle, que poderia não funcionar e não gravar os dados dos parâmetros diários da planta de tratamento. De acordo com análise feita, percebeu-se que o problema ocorria com frequência, o que favoreceu para o problema em questão ser o primeiro da lista. Outros exemplos foi a avaliação de performance da unidade de tratamento que não possuía controle suficiente, sondas e equipamentos adequados que permitissem os parâmetros dentro dos padrões. Neste trabalho foi possível observar uma técnica que permite avaliar os modos de falha e ao mesmo tempo permite estabelecer um plano de priorização para o tratamento dos desvios. Além disso, os resultados encontrados permitiram estabelecer recomendações de novos equipamentos, instrumentação, procedimentos, treinamentos, dentre outros para que a unidade pudesse operar adequadamente e estar preparada para os cenários futuros.

Buscando uma abordagem para melhoria do plano de operação e gestão em uma planta de tratamento na Tanzania, Frattarola *et.al.* (2018) implementou em seu trabalho uma ferramenta de avaliação de risco baseada em um plano de segurança sanitária. A região escolhida no estudo de caso estudo, considerado de baixa renda, é conhecida como uma região que apresenta desafios socioeconômicos e conseqüentemente apresenta urgência na busca de alternativas de reuso de água e nutrientes para uso na agricultura. Dessa forma, buscando contemplar estes temas, os autores implementaram na planta de tratamento Municipal de Iringa, Tanzania, que trata o efluente de 16 % da população da cidade, que têm 157 mil habitantes, uma ferramenta que buscasse identificar e quantificar riscos associados a eventos de perigo potenciais de determinadas etapas de tratamento que pudessem afetar a saúde dos trabalhadores, ambiente e comunidades próximas objetivando sugerir a implementação de medidas de controle, procedimentos e salvaguardas para a planta. A pesquisa foi de grande importância para saúde pública local, pois área próxima a descarga do efluente tratado existem plantações de milho, cebola, tomate dentre outros legumes que são consumidos e vendidos por agricultores locais. Muitos estudos relatam relação direta de doenças gastrointestinais e infecções oriundas de vermes com efluentes não tratados que são despejados em áreas de plantio, que acarreta na contaminação de trabalhadores e de famílias que residem próximas ao corpo receptor. Reforçado por esta preocupação, a ferramenta de avaliação de risco utilizada pelos pesquisadores foi baseada no guia de planejamento de segurança sanitária (SSP) elaborado pela WHO que aborda os procedimentos necessários para a execução de uma abordagem baseada em riscos. A ferramenta consiste em uma abordagem semi-quantitativa, em que uma matriz de risco foi elaborada levando em consideração a probabilidade de ocorrência de um evento, a severidade associada ao evento estudado e o potencial de detectabilidade do sistema em identificar o desvio. Este último, foi um incremento que os autores fizeram na metodologia. Todos os parâmetros foram ranqueados de 1 a 3. Baseado no guia da WHO, os autores incluíram para o cálculo do critério do risco o parâmetro de medida de controle (CM), que tem o potencial de reduzir o nível de risco de acordo com Wagner & Strube (2005), visto que é um fator de divide o produto entre a severidade, probabilidade e detectabilidade. Os controles de medidas foram definidos pelos

autores como alguma medida que pudesse proteger etapas subsequentes, como tubulações, cercas, paredes dentre outros. Como resultado, foram identificados 44 eventos perigosos ao longo das etapas da planta. Um exemplo é a presença de material grosseiro nas etapas, que recebeu valor de severidade 2 pois pode impactar na performance do processo, probabilidade de ocorrência foi de 3, pois de acordo com os especialistas o evento ocorria mais de uma vez por mês. Em termos de detecção o evento recebeu valor de 1, valor este associado a melhor detecção, pois poderia ser detectado visualmente. No total, 16 eventos foram considerados de risco baixo, 9 de risco médio, 13 de risco alto e 6 de risco muito alto. Quando levado em consideração o parâmetro de medida de controle (CM), 24 riscos foram considerados como baixo, 6 de risco médio, 9 de risco alto e 5 de risco muito alto. Com os resultados foi possível demonstrar a importância dos controles de medidas, que fez com que houvesse a diminuição dos níveis de riscos e que conseqüentemente favorecem a mitigação dos mesmos. A ausência de medidas de controle permitiu estabelecer pontos de melhorias, como por exemplo, o monitoramento mensal de oxigênio dissolvidos em diversas etapas, registro das atividades e supervisão, atualização de treinamentos, uso de equipamentos adequados para atividades, dentre outras recomendações. Vale destacar neste trabalho a abordagem implementada na ferramenta utilizada, mostrando que a adequação das ferramentas a cada processo e objetivo é possível, mostrando a versatilidade que essas ferramentas possuem.

6.2. Estudo de Caso

Segundo Yin (2001), o estudo de caso é encarado como uma delimitação adequada para a investigar um fenômeno contemporâneo dentro do seu contexto real. Portanto, o trabalho em questão foi realizado através de um estudo de caso na estação de tratamento de efluentes industriais de uma grande indústria farmacêutica do Rio de Janeiro (por questões éticas não foi relatado nesse estudo o nome da indústria).

6.2.1. Contextualização

A indústria farmacêutica do estudo de caso possui um centro tecnológico que é considerado um dos maiores centros de produção da América Latina para a autossuficiência em vacinas essenciais para o calendário de imunização do

Ministério da Saúde. Além de vacinas, a instituição possui unidades que desempenham papel estratégico e que são responsáveis pela produção de protótipos, biofármacos, vacinas e reativos para diagnósticos.

Para atender às expectativas desse portfólio, esta unidade está separada fisicamente em dois lados, onde no primeiro piso, de um dos lados, são produzidos os biofármacos através do cultivo de células de mamífero, e no outro lado são produzidas as vacinas virais. O prédio foi desenhado para que o segundo andar fosse responsável pela geração de água específica como WFI (*Water for Injection*), PW (*Pure Water*) e vapor puro, objetivando atender aos processos produtivos industriais. Enquanto o terceiro andar é responsável pela produção de protótipos, visando a incorporação de novos produtos. Seguindo o mesmo racional, o quarto andar é responsável pelo preparo de soluções e meio de cultura que atende tanto a planta de protótipos quanto o primeiro piso em escala industrial. Por fim, um último andar é responsável pela produção de kits para diagnósticos, como testes moleculares e testes rápidos para Chikungunha, Covid, Dengue, HIV, Leishmaniose, entre outros.

É importante destacar que em todas as instalações da unidade da indústria do modelo de estudo de caso, os requisitos de biossegurança citados anteriormente são exigidos e seguidos. Adicionalmente, todas as instalações são classificadas como área limpas e necessitam de instalações e procedimentos específicos que permitam a execução de suas atividades. Segundo a RDC 658/2022, a definição de área limpa é a área com controle ambiental definido de contaminação particulada e microbiana, construída e utilizada de forma a reduzir a introdução, geração e retenção de contaminantes dentro da área.

De acordo com a Instrução Normativa nº 35 da Anvisa (2019), as áreas limpas devem estar classificadas de acordo com a versão vigente da norma ISO 14644-1. Esta, classifica as áreas limpas de acordo com a concentração de partículas no ar. A Tabela 25 mostra as concentrações de partículas no ar para cada área, assim como sua definição.

Tabela 25 - Classificação de áreas limpas em relação a número de partículas por m³

Grau	Em repouso		Em funcionamento		Definição
	Σ /m^3		Σ /m^3		
	0,5 μm	5,0 μm	0,5 μm	5,0 μm	
A	3520	20	3520	20	São áreas com operações de alto risco, como áreas de envase de medicamentos injetáveis, onde são utilizados tampas, frascos ou ampolas abertas que são para conexões assépticas.
B	3520	29	352000	2900	São áreas que circundam as áreas de Grau A e que antecedem as preparações e envase de assépticos.
C	352000	2900	3520000	29000	Áreas consideradas menos críticas da fabricação de medicamentos estéreis
D	3520000	29000	Não definido	Não definido	

O conhecimento da classificação é importante para definição das vestimentas a serem utilizadas, frequência de monitoramento ambiental e microbiológico, procedimentos, instalações e equipamentos. Portanto, as áreas produtivas da instituição de estudo têm diferencial de pressão que deve estar de acordo com a classificação das áreas a fim de evitar a entrada de contaminantes. Ou seja, as áreas mais limpas possuem pressão positivas em relação a áreas adjacentes, com diferencial de pressão entre 10 e 15 Pa. Para que isso seja possível, as áreas possuem antecâmaras de entrada de pessoal com o objetivo de manter a cascata de pressão projetada.

Em relação as vestimentas, os colaboradores que exercem suas atividades em áreas classificadas com Grau D têm seus cabelos e barbas cobertos e utilizam vestimentas protetoras e sapatos apropriados. Enquanto nas áreas de Grau C, os cabelos e barba também são cobertos, sendo característica da vestimenta calça e jaleco de mangas apertadas nos pulsos e com gola alta sem soltar nenhuma fibra ou partícula, assim como a utilização de sapatos cobertos apropriados. Enquanto as de Grau A e B que são mais restritivas, os cabelos e barba são cobertos por capuz que envolve totalmente a área a ser coberta. Adicionalmente, é utilizado máscara facial para evitar que sejam projetadas gotículas no ambiente, luvas sem pó e esterilizadas e calçados esterilizados. Todas as vestimentas não devem soltar nenhuma fibra ou partícula. Em todas as áreas, a utilização de maquiagem e acessórios são

proibidos.

6.2.2. Condições e Caracterização do Efluente

A natureza do efluente gerado na unidade industrial de estudo é complexa, pois depende das operações que são utilizadas, assim como do processo produtivo que está ocorrendo. Essa característica se deve principalmente às etapas de produção de biofármacos e vacinas em escala industrial, pois geram mais efluentes e são constituídas de duas etapas conhecidas como biorreação e purificação. Nessas duas etapas são utilizados fluidos para a limpeza de equipamentos e soluções orgânicas e inorgânicas. Especificamente para a etapa de biorreação, fluido de meio de cultura rico em nutrientes é utilizado para a propagação celular de um organismo geneticamente modificado (OGM) para a produção do produto de interesse.

Os materiais da Tabela 26, são os materiais comumente utilizados nas etapas de biorreação e purificação dos processos industriais existentes no complexo industrial produtivo.

Tabela 26- Principais componentes utilizados nos processos produtos da indústria farmacêutica do estudo

Material	Finalidade de Uso
<i>Bicarbonato de Sódio, L-Glutamina, Ácido etileno diaminotetracético, Ácido Clorídrico 37%, Ácido Cítrico, Meio de Cultura X, Células de mamífero, Proteínas recombinantes, Debris (DNA, host cell protein), Glicose, eritropoetina</i>	Etapas de biorreação
<i>Tris hidroximetilaminometano, Fosfato de Sódio dibásico dihidratado, Cloreto de sódio, Fosfato de Sódio monobásico anidro, Cloreto de Sódio, Azul de Trypan, Hidróxido de Sódio, Acetato de Sódio anidro, Acetona, Etanol, Ácido acético glacial, Polisorbato, Fosfato de Potássio monobásico, Ácido Cítrico</i>	Etapas de purificação
<i>WFI, PW e Hidróxido de Sódio (0,5 %)</i>	Lavagem de equipamentos

Deve-se salientar, que há componentes utilizados na planta de protótipos que não foram inseridos na tabela pois a planta está em processo de estruturação para a implementação de novos produtos. Adicionalmente, efluentes gerados pela lavagem de pátios e higienização de pisos também são enviados para a ETE. Além dos componentes citados na Tabela 26, a ETE também recebe efluente sanitário da unidade, mas em pequena quantidade

comparado ao efluente industrial. Os principais parâmetros estimados do afluente à montante da estação de tratamento de efluentes industriais gerados pela unidade está na Tabela 27. Deve-se salientar que antes da passagem pela ETE, o efluente é neutralizado, se necessário, e inativado na Central de Inativação para posteriormente ser drenado para a ETE.

Tabela 27- Características do afluente da ETE

Parâmetro	Valor
Vazão média	466,56 m ³ /dia
Carga orgânica	186,62 kg DBO/dia (400 mg/L)
Coliformes fecais (CF/100 mL)	1,0 x 10 ⁺⁷
SS	480 mg/L
NTK	59,0 mg/L
Temperatura	25 – 38°C
pH	5-9

6.2.3. Requisitos e Etapas da Estação de Tratamento de Esgoto

6.2.3.1. Requisitos e Diretrizes

Deve-se defender na indústria farmacêutica o alinhamento das boas práticas de fabricação com os conceitos de responsabilidade socioambiental e sustentabilidade, que está diretamente atrelado a importância do conhecimento do descarte inadequado de resíduos que podem ocasionar danos ao meio ambiente e à saúde pública. Desse modo, além de estar em consonância com a Resolução CONAMA 430/2011, os requisitos implementados para tratamento dos efluentes industriais na indústria farmacêutica do estudo de caso são baseados nas diretrizes do Instituto Estadual do Meio Ambiente (INEA,) que orientam a redução de acordo com a tipologia industrial e as quantidades

geradas de efluente. São elas:

- ***DZ – 205.R-6 – Diretriz de controle de Carga Orgânica em Efluentes Líquidos de Origem Industrial***

A diretriz em questão estabelece as exigências de controle de poluição das águas de resultem na redução de matéria orgânica biodegradável de origem industrial, matéria orgânica não biodegradável de origem industrial e compostos orgânicos de origem industrial que interferem nos mecanismos ecológicos dos corpos de água e na operação de sistemas biológicos.

- ***NT-202.R--10 – Norma técnica para Critérios e Padrões para Lançamento de Efluentes Líquidos.***

A norma técnica em questão estabelece critérios e padrões para o lançamento de efluentes líquidos provenientes de atividades poluidoras, em águas costeiras ou interiores, superficiais ou subterrâneas do Estado do Rio de Janeiro. Portanto, a norma estabelece padrão de pH (5,0 a 9,0), temperatura inferior a 40 °C, cor virtualmente ausente, material sedimentável de até 1,0 mg/L em 1 hora, dentre outros limites de metais e nutrientes.

- ***DZ-942.R7 – Diretriz do Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos – Procon Água***

Esta diretriz estabelece que os responsáveis pelas atividades poluidoras apresentem regularmente a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente - FEEMA, por intermédio de um relatório de acompanhamento dos efluentes líquidos gerados, com as características qualitativas e quantitativas de seus respectivos efluentes.

6.2.3.2. Fluxograma e Descrição das Etapas

A tecnologia adotada para o tratamento do efluente gerado com as características citadas anteriormente está baseada na tecnologia de lodos ativados por aeração prolongada de fluxo contínuo. As etapas são divididas em tratamento preliminar, primário, secundário e tratamento de lodo.

A Figura 12 mostra a vista superior da ETE, onde foi aplicado o estudo de caso. A Figura 13 mostra as principais etapas e equipamentos.

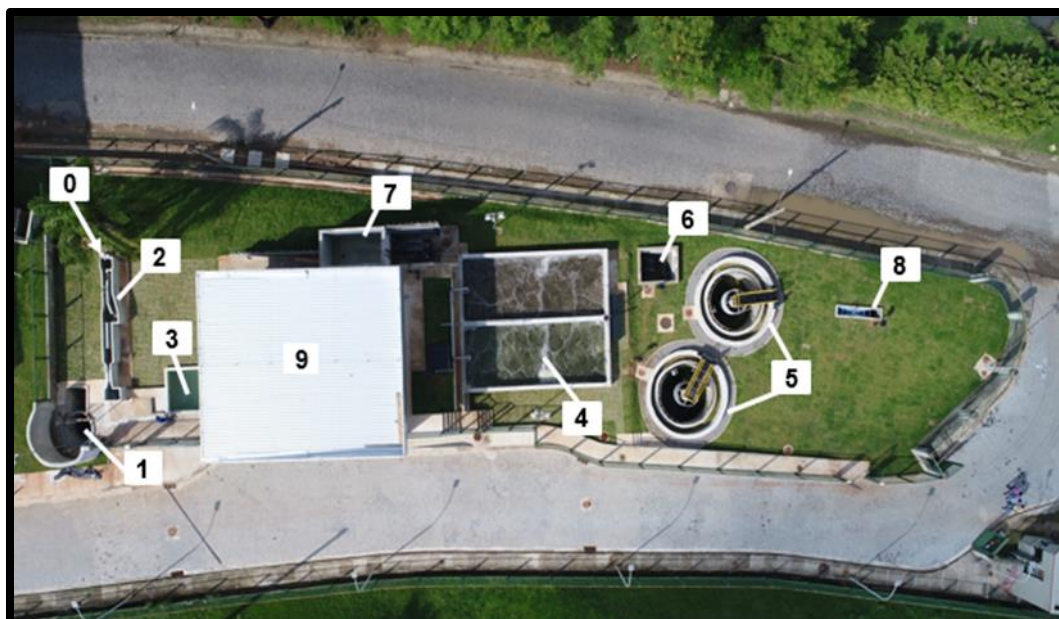


Figura 12 – Vista superior das etapas da ETE do estudo de caso

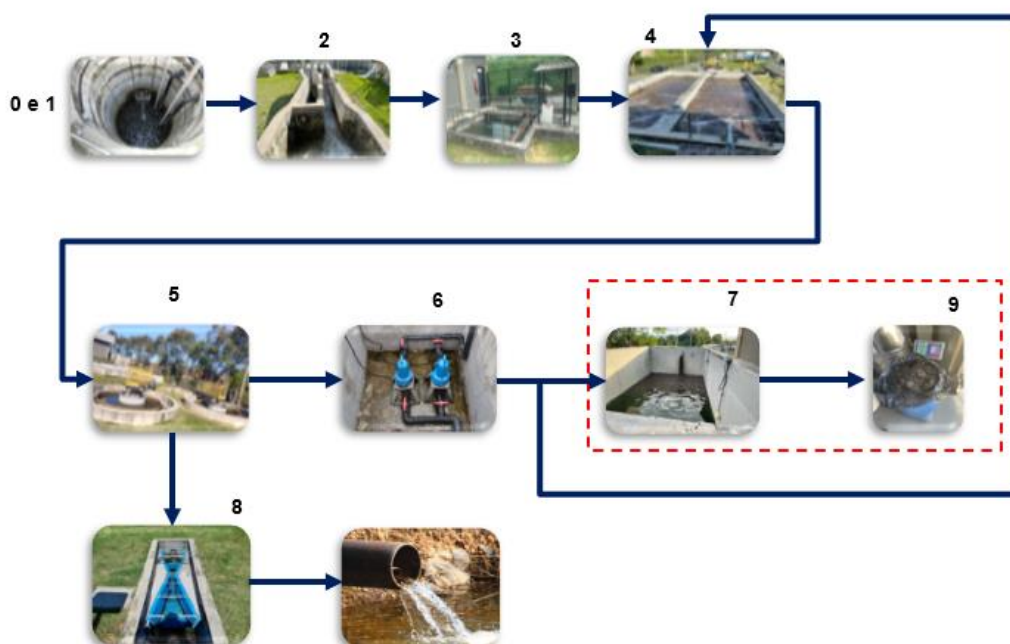


Figura 13 - Etapas da ETE do estudo de caso. 0 e 1- Elevatória; 2-Gradeamento, Caixa de Areia e Calha Parshall; 3- Tanque de Equalização; 4- Tanque de Aeração; 5-Sedimentadores secundários; 6-Bomba de Recirculação; 7-Tanque de Lado; 8-Calha Parshall; 9-Tratamento do lodo

O afluente sanitário passa pela Calha Parshall-01 para medição da vazão de entrada da ETE pelo sensor transmissor e medidor de vazão ultrassônico FT-01. Além disso, a etapa é responsável pela remoção de areia e remoção de gordura. Após passagem pela Calha Parshall-01 o efluente é armazenado no tanque de elevatória TQ-ELV-01, que é constituído de duas bombas submersíveis BEB-03 e BEB-04, que são acionados quando o sensor de nível de alta LSH-01 detecta o nível especificado para o bombeamento. O sensor de

nível de baixa LSL-01 é responsável pelo interrompimento do bombeamento em caso de nível baixo. O mesmo fluxo ocorre em paralelamente para o afluente industrial proveniente da central de inativação, que é enviado para elevatória TQ-ELV-02. De forma semelhante, o tanque é constituído por duas bombas submersíveis BEB-01 e BEB-02, sendo uma bomba a reserva.

Depois da elevatória o efluente é bombeado para outra etapa de gradeamento objetivando reter sólidos de menor diâmetro (passo 0 e 1). A etapa de gradeamento de materiais grosseiros é importante para evitar danos às bombas e incrustações das tubulações. Vale ressaltar que o bombeamento só é acionado quando o nível da elevatória atinge um volume específico, ou seja, o bombeamento é intermitente de acordo com o nível. Após gradeamento, o fluido passa por uma caixa de areia onde ocorre a sedimentação discreta pela tranquilização do fluxo do líquido e pela Calha Parshall-02 (passo 2) que tem a função de medir a vazão do fluido total utilizando um sensor ultrassônico.

Após a medição da vazão, o efluente é enviado para a etapa de equalização que tem como função principal estabilizar o regime hidráulico através das chicanas, objetivando a manutenção da vazão constante para o tanque de aeração. Além disso, o processo de equalização evita carga excessiva, propiciando vazão contínua que evita picos de concentrações de materiais tóxicos para as etapas seguintes. Esta etapa é realizada no tanque de equalização de 19 m³ representado no passo 3. Além disso, a etapa minimiza variações de concentração de carga orgânica para o tanque de aeração (passo 4), evitando picos tóxicos que possam afetar o meio microbiológico existente no tanque de aeração. Nesta etapa também é feito o controle do pH do efluente que é monitorado pelo sensor de pH (AT-01-PH-01). A adição de solução ácida ou básica ocorre através da utilização de bombas peristálticas acopladas a dois tanques de armazenamento de solução, TQ-AC para o tanque de ácido e TQ-BA para a solução básica. O tanque também é constituído de sensor de temperatura (AT-01-TT-01) para monitoramento e de sensores de nível de alta (LSH-03) e de baixa (LSL-03) interligados com o medidor de vazão FT-02 da Calha Parshall-02. Após a equalização, que tem tempo de retenção de 1 hora, o efluente passa por uma caixa de distribuição que direciona o fluido para os tanques de aeração TQ-AER-01 e TQ-AER-02.

Esta etapa (passo 4) é constituída por dois Tanques de Aeração (TQ-AER-01 e TQ-AER-02) de 160 m³ cada que tem como função promover o desenvolvimento de uma colônia microbológica (biomassa), a qual consumirá a matéria orgânica do efluente com o objetivo de redução de 94% de DBO, isto é, 24,0 mg/L de DBO, 28,8 mg/l de SS e redução de 15% de NTK. A relação A/M é de 0,150 kgDBO/kgSSVTA.d. Além do tanque em si, o sistema é composto de equipamentos auxiliares como os sopradores SOP-01 e SOP-02, responsável pelo sistema de aeração objetivando manter uma concentração adequada (1,5 - 2,0 mg/L) de oxigênio dissolvido necessário ao metabolismo dos microrganismos aeróbio. As bolhas são formadas através de tubos distribuídos. O tempo de retenção hidráulica é estimado em 16 horas e a idade do lodo de 18 dias.

O sistema de aeração é controlado por dois sensores de oxigênio, AT-02-OD-02 para o tanque de aeração TQ-AER-01 e AT-03-OD-03 para o tanque TQ-AER-02 para o controle da concentração de oxigênio dissolvido, que aciona um dos sopradores. Os tanques, além de receber o efluente a ser tratado, também recebe lodo proveniente dos decantadores secundários, TQ-DEC-01 e TQ-DEC-02 (passo 5) através das bombas de recirculação de lodo BEL-01 ou BEL-02 (passo 6), com razão de recirculação igual a 1, para a manutenção da concentração adequada de lodo no tanque de aeração.

Após o tratamento biológico, o efluente do tanque de aeração é submetido ao processo de decantação nos decantadores circulares TQ-DEC-01 e TQ-DEC-02 de 44 m³ cada onde o lodo ativado é decantado e recirculado para os tanques de aeração ou enviado para o tratamento de lodo através de uma elevatória fechada (TQ-ELV-LD-01). Os decantadores são constituídos pelas pistas articuladas responsáveis pela raspagem do lodo depositado no fundo do equipamento. Além disso, é acoplado aos decantadores uma elevatória de espuma de 1,2 m³ que bombeia a espuma através da bomba BEE-01 controlada e acionada pelo sensor de nível de alta LSH-10 e interrompida pelo sensor de baixa LSL-10. O lodo excedente é enviado para o tanque de lodo TQ-TRAN-LD de 20 m³ constituído de bomba sapo (BMTL) para homogeneização (passo 7) para posterior desidratação. O tanque de lodo é constituído de controle de nível por dois sensores de alta e baixa, LSH-07 e LSL-07, respectivamente. Os sensores são responsáveis pelo acionamento das bombas helicoidais BTL-01 e

BTL-01. O efluente líquido clarificado nos decantadores é descartado no corpo receptor após passagem por uma Calha Parshall-02 (passo 8) onde a vazão é medida e monitorada pelo medidor de vazão FT-05, o pH pelo sensor AT-04-PH-04 e a concentração de oxigênio pelo sensor AT-04-OD-04.

Ao chegar em um nível ideal, o lodo armazenado no tanque de lodo TQ-TRAN-LD (passo 8) é bombeado através de duas bombas helicoidais (sendo uma reserva) para a etapa de desidratação (passo 8) que ocorre com o auxílio do Adensador Dinâmico ADEN-01 com capacidade de 20 m³/h. Para o adequado funcionamento, uma vazão constante de água deve ser adicionada ao sistema. No momento do bombeamento do lodo para o Adensador, uma das bombas de polímero helicoidal, BDP-01 ou BDP-02, é acionada para fornecimento de polímero ao sistema. A adição do polímero é necessária para a aglomeração dos flocos de lodo. A mistura do polímero com o lodo é feita no reator flutuador que é acoplado ao Adensador Dinâmico.

Após tratamento no Adensador Dinâmico, o lodo é bombeado para uma Centrifuga de tambor rotativa para maior desidratação. Essa operação também necessita da adição de polímero, que é adicionado através das bombas BDP-01 ou BDP-02 helicoidais que são controladas pelo medidor de nível do tanque de polímero. O lodo desidratado é coletado em uma caçamba e direcionado para o descarte, enquanto a água remanescente é enviada para o tanque de aeração.

6.3. Análise Preliminar

A análise preliminar de riscos das principais etapas da ETE foi feita apenas para os colaboradores que atuavam na planta devido a experiência prática na área do estudo. Todos os colaboradores responderam e tiveram suas respostas consideradas na análise. O exemplo do questionário aplicado se encontra no ANEXO B. O intuito da análise preliminar foi estabelecer o panorama geral dos principais riscos e perigos do ponto de vista dos colaboradores, além de auxiliar na elaboração dos questionários posteriores.

Previamente a aplicação do questionário, foram feitas as definições de “perigo”, “risco” e “dano” para os participantes para que as definições fossem aplicadas para etapa analisada. A Tabela 28 mostra o compilado dos resultados obtidos.

Tabela 28- Análise preliminar de risco da ETE

Etapa	Análise Preliminar			
	Risco e/ou Perigo		Risco	
	Processo	Operador	Ambiental	Regulatório
Tanque de elevação graúna	<ul style="list-style-type: none"> Falha elétrica das bombas submersíveis Entupimento das tubulações de entrada Transbordamento da elevatória pelo não funcionamento do sensor de nível Transbordamento da elevatória pelo mau funcionamento das bombas Falha mecânica das bombas Posicionamento inadequado do gradeamento Gradeamento entupido Paralisação da planta em casa de falha 	<ul style="list-style-type: none"> Em caso de vazamento, irritação na pele e olhos Risco ergonômico devido ao içamento das bombas para manutenção Choque elétrico pelo não aterramento dos equipamentos 	<ul style="list-style-type: none"> Em caso de vazamento nas tubulações, contaminação do solo Poliuição do solo pelo vazamento de fissura da estrutura de concreto 	Multa ambiental
Calha Parshal	<ul style="list-style-type: none"> Posicionamento inadequado do gradeamento Falha na medição de vazão Arraste de sólido pela limpeza inadequada da caixa de areia Arraste de sólido pela limpeza da grade de retenção Falha no monitoramento e perda de dados na sala de controle 	<ul style="list-style-type: none"> Contato com o efluente não tratado na atividade de limpeza Aspirar gotículas de efluente aspergido quando as bombas da elevatória estão acionadas 	<ul style="list-style-type: none"> Em caso de vazamento contaminação do solo Vazamento por fissura nas tubulações e estrutura da calha que levaria a contaminação do solo 	<ul style="list-style-type: none"> Multa ambiental Não conformidade pela não calibração do medidor de vazão ultrassônico Notificação e autos
Tanque de Equalização	<ul style="list-style-type: none"> Falha na correção do pH que acarreta a perda de eficiência no tratamento secundário devido a não calibração dos sensores Falha das bombas peristálticas 	<ul style="list-style-type: none"> Em caso de vazamento do efluente, irritação na pele e olhos Queimaduras pelo contato do ácido e base Risco de queimadura pela manipulação das soluções Perigo de afogamento 	<ul style="list-style-type: none"> Em caso de vazamento contaminação do solo 	<ul style="list-style-type: none"> Multa ambiental Não conformidade devido a não correção do pH e ineficiência do tratamento secundário
Tanque de distribuição	<ul style="list-style-type: none"> Vazamento de efluente devido à alta vazão Transbordamento do tanque 	<ul style="list-style-type: none"> Em caso de vazamento do efluente, irritação na pele e olhos Contato com o efluente não tratado na atividade de limpeza 	<ul style="list-style-type: none"> Em caso de vazamento contaminação do solo 	<ul style="list-style-type: none"> Multa ambiental e não conformidade
Tanque de aeração	<ul style="list-style-type: none"> Falha no sistema de aeração Ineficiência da degradação da matéria orgânica Entupimento das membranas das placas difusoras Entupimento das tubulações a jusante do tanque, impactando nas etapas subsequentes Falha no sensor de pH Risco de transbordamento Falha nos sensores de oxigênio 	<ul style="list-style-type: none"> Em caso de vazamento do efluente, irritação na pele e olhos Risco de afogamento Perigo de contato com bactérias nocivas que podem ser aspiradas 	<ul style="list-style-type: none"> Em caso de vazamento contaminação do solo 	<ul style="list-style-type: none"> Não conformidade Notificação caso constatação de ineficiência no tratamento do efluente
Decantador secundário circular	<ul style="list-style-type: none"> Falha elétrica da ponte articulada Falha elétrica das bombas Falha mecânica do raspador Risco de arraste de lodo para a calha parshal de drenagem O arraste de lodo pode diminuir a concentração de lodo no tanque de aeração e diminuir sua eficiência 	<ul style="list-style-type: none"> Em caso de vazamento do efluente, irritação na pele e olhos Perigo de afogamento Risco ergonômico 	<ul style="list-style-type: none"> Em caso de vazamento contaminação do solo No caso de arraste de lodo, o mesmo pode causar assoreamento do leito do rio Faria Timbó (corpo receptor) Fissura na estrutura de concreto pode acarretar no vazamento 	<ul style="list-style-type: none"> Multa ambiental e não conformidade de caso seja constatado ineficiência na etapa

			do liquor misto de lodo e efluente	
Tanque elevatória de lodo e Tanque de Lodo	<ul style="list-style-type: none"> Falha elétrica das bombas Falha mecânica das válvulas Falha na manobra das válvulas Risco de perda de eficiência caso o lodo fique armazenado por muito tempo 	<ul style="list-style-type: none"> Em caso de vazamento do efluente, irritação na pele e olhos Perigo de afogamento Exposição a agente biológicos e odores 	<ul style="list-style-type: none"> Em caso de vazamento contaminação do solo Se mantido por muito tempo, pode gerar proliferação de vetores Geração de odor 	<ul style="list-style-type: none"> Multa ambiental e não conformidade
Adensador Tubular Dinâmico	<ul style="list-style-type: none"> Falha elétrica do adensador Falha Mecânica do adensador Falha elétrica da bomba Falha mecânica da bomba Perda de eficiência no processo de coagulação Vibração excessiva 	<ul style="list-style-type: none"> Choque elétrico Riscos físicos na manipulação do equipamento 	<ul style="list-style-type: none"> Se não adensado adequadamente, o lodo pode conter umidade e gerar lixiviado quando for descartado no aterro sanitário 	<ul style="list-style-type: none"> Multa ambiental e não conformidade
Centrífuga e Tanque de polímero	<ul style="list-style-type: none"> Falha elétrica da centrífuga Falha Mecânica da centrífuga Transbordamento do tanque de polímero Perda de eficiência no processo de coagulação 	<ul style="list-style-type: none"> Contaminação pelo contato do lodo desidratado Risco ergonômico Choque elétrico 	<ul style="list-style-type: none"> Se não adensado adequadamente, o lodo pode conter umidade e gerar lixiviado quando for descartado no aterro sanitário 	<ul style="list-style-type: none"> Não conformidade
Calha Parshal de Drenagem	<ul style="list-style-type: none"> Risco de entupimento, acarretando o aumento do nível dos decantadores Risco de pane e perda de dados e monitoramento 	-	<ul style="list-style-type: none"> Em caso de vazamento contaminação do solo Em caso de entupimento e aumento de nível, o efluente descartado pode carrear carga orgânica elevada 	<ul style="list-style-type: none"> Multa e não conformidade

Os resultados da Tabela 28 mostram os principais riscos e perigos identificados pelos colaboradores da planta. Através dos resultados é possível perceber o entendimento dos participantes nas etapas assim como o conhecimento dos possíveis riscos e perigos atrelados a cada etapa do processo.

De acordo com as respostas, percebe-se que a maioria dos riscos e perigos identificados são de processo, ressaltando o tanque de aeração e os decantadores secundários circulares por constituírem as principais etapas no tratamento do efluente. Os principais riscos identificados para essas duas etapas foram falhas de equipamentos. Foram citados a possibilidade de falha elétrica e mecânica das bombas centrífugas submersíveis assim como as helicoidais de deslocamento positivo. Além disso, destaca-se a criticidade em relação a falha

elétrica e mecânica dos sopradores que impacta diretamente na transferência de oxigênio no tanque de aeração e conseqüentemente na degradação da matéria orgânica. Adicionalmente, ressaltou-se a possibilidade de entupimento das membranas difusoras no tanque de aeração, que influencia na formação das bolhas e conseqüentemente na transferência de oxigênio no tanque. Em relação aos decantadores secundários, a possibilidade de falha mecânica da pista articulada e dos raspadores também foram citadas por gerarem risco na eficiência de separação e possibilidade de dano ambiental através do carreamento de lodo não tratado para o corpo receptor. O carreamento do lodo para etapas subsequentes também pode gerar a diminuição da concentração de lodo no tanque de aeração que é recirculado. Neste mesmo racional, a bomba de recirculação de lodo também foi identificada como um equipamento de possibilidade de falha e oferecendo impacto na manutenção da concentração de lodo no tanque de aeração.

Para as etapas subsequentes, as possibilidades de falhas dos equipamentos e válvulas também foram relatadas. O receio dos colaboradores em relação a estes equipamentos é a possibilidade de falha elétrica e mecânica tanto do adensador quanto da centrífuga. Estes equipamentos desempenham papel fundamental na etapa de desidratação do lodo, e o funcionamento inadequado desses equipamentos gera impacto na eficiência do tratamento do lodo, podendo também gerar impactos ao meio ambiente caso descartados sem o adequado tratamento. Referente ao lodo, ele foi citado por permitir a proliferação de vetores caso armazenado de forma demasiada no tanque de lodo.

Ponto importante que vale ser destacado foram os riscos relatados como consequência da falha dos sensores. Como por exemplo a possibilidade de transbordamento da elevatória graúna devido a falha do sensor de nível e falha dos sensores de oxigênio que estão atrelados ao acionamento dos sopradores no tanque de aeração. Os medidores de vazão também foram destacados pela possibilidade de estarem descalibrados e não medirem de forma adequada a vazão de efluente tanto na entrada como na saída, assim como os sensores de pH da etapa de equalização. Nesses casos, além de gerarem risco ao processo, as falhas geram risco de multas ambientais, geração de conformidades e

possíveis impactos ambientais pelo efluente estar com parâmetros fora do adequado.

Os impactos ambientais relatados se deram devido a possibilidade de vazamento através do surgimento de fissura nas estruturas de concreto dos tanques, da possibilidade de transbordamento do efluente durante as etapas, através do vazamento nas tubulações e na ineficiência do tratamento do efluente que acarretaria o contato do efluente não tratado no solo e no corpo receptor. Chama-se atenção que a ineficiência do tratamento, que pode gerar possíveis impactos ambientais, está associada a outros riscos citados anteriormente de equipamentos e instrumentos.

Além dos riscos de processo, ambiental e regulatório, também foram citados riscos aos operadores. Como a planta de tratamento consta de tanques abertos ao ar livre, os principais riscos relatados foram a possibilidade de afogamento acidental e por mal súbito. Além de queimaduras pelo manuseio de soluções ácido e base e exposição ao efluente não tratado que pode estar contaminado com substâncias e microrganismos nocivos à saúde.

Observa-se, de acordo com os resultados obtidos na análise preliminar, que o erro humano foi citado poucas vezes e quando foi citado pelos participantes não foi explícito. Segundo as respostas, pode-se citar o mau posicionamento das grades na etapa de gradeamento e falha na manobra das bombas do tanque de lodo, que estão associados a procedimentos de rotina realizados na planta. Pode-se inferir que a falta de calibração dos instrumentos de detecção e monitoramento que foi relatada, também pode estar associada a falha na execução de procedimento de rotina. É importante destacar esses pontos porque uma das principais causas do mau funcionamento e perda de performance de uma planta é associada ao erro humano, como citado no trabalho de Analouei *et.al.* (2020).

6.4. Definição dos nós de estudo

Os “nós” de estudo foram definidos de acordo com a funcionalidade de cada etapa da ETE pela equipe, conforme descrito na metodologia no item 5.3. Na Tabela 29 é apresentado os “nós” selecionados, assim como sua funcionalidade e os principais instrumentos e equipamentos envolvidos na

envoltória.

Tabela 29 - Nós de estudo da ETE

Nó	Equipamento	Funcionalidade	Instrumentos e equipamentos envolvidos
1	TQ-ELV-02 – Tanque elevatória	Tanque elevatória de efluente industrial responsável pelo recebimento do efluente industrial e transferência	LSL - 02 - Sensor de nível de baixa do tanque da elevatória LSH – 02 -Sensor de nível de alta do tanque da elevatória FT – 03 – Transmissor de vazão de entrada de efluente BEB-01 - Bomba centrífuga submersível BEB-02 - Bomba centrífuga submersível SIC – BEB-01 – Indicador controlador da velocidade da bomba BEB-01 SIC – BEB-02 – Indicador controlador da velocidade da bomba BEB-02 HV-05 – Válvula manual com retenção de fluxo reverso a jusante da bomba BEB-01 HV-06 – Válvula manual com retenção de fluxo reverso a jusante da bomba BEB-02
2	TQ-ELV-01 – Tanque elevatória	Tanque elevatória de efluente sanitário, responsável pelo recebimento do efluente sanitário e transferência	LSL – 01- Sensor de nível de baixa do tanque da elevatória LSH – 01- Sensor de nível de alta do tanque da elevatória FT – 01 – Transmissor de vazão de entrada de efluente BEB-03 - Bomba centrífuga submersível BEB-04 - Bomba centrífuga submersível SIC – BEB-03– Indicador controlador da velocidade da bomba BEB-03 SIC – BEB-04– Indicador controlador da velocidade da bomba BEB-04 HV-03 – Válvula manual com retenção de fluxo reverso a jusante da bomba BEB-03 HV-04 – Válvula manual com retenção de fluxo reverso BEB-04
3	PARSHALL-01- Calha Parshal 01	Calha Parhsal responsável pelo gradeamento, remoção de areia e medição da vazão de efluente sanitário	FT-01 – Transmissor de vazão de entrada
4	PARSHALL-01- Calha Parshal 02	Calha Parhsal responsável pelo gradeamento, remoção de areia e medição da vazão de efluente sanitário e industrial	FT-02 – Transmissor de vazão de entrada HV- 01-Válvula manual esfera da entrada do tanque de equalização HV-02 – Válvula manual esfera da entrada do tanque de distribuição
5	TQ-AC e TQ-BA - Tanques ácido-base	Tanques de armazenamento de	BDA-01- Bomba peristáltica de ácido

		soluções ácida e básica para controle de pH do tanque de equalização	BDA-02- Bomba peristáltica de ácido AT-01-PH-01 – Sonda multiparâmetro de pH do tanque de equalização AT-01-TT-01 – Sonda multiparâmetro de temperatura do tanque de equalização
6	TQ-EQ-01 – Tanque de equalização	Tanque de equalização com chicanas para tranquilização do fluxo, controle do pH e monitoramento da temperatura	AT-01-PH-01 – Sonda multiparâmetro de pH do tanque de equalização AT-01-TT-01 – Sonda multiparâmetro de temperatura do tanque de equalização LSL - 03 - Sensor de nível de baixa do tanque de equalização LSH – 03 --Sensor de nível de alta do tanque de equalização HV- 01-Válvula manual esfera da entrada do tanque de equalização HV-02 – Válvula manual esfera da entrada do tanque de distribuição FT-02 – Transmissor de vazão de entrada
7	CX-TQ-AER – Caixa de distribuição para os tanques de aeração	Caixa de distribuição do efluente proveniente do tanque de equalização e lodo recirculação para o tanque de aeração	ZSO-01- Sensor de posição da caixa de distribuição 01 ZSO-02- Sensor de posição da caixa de distribuição 02 SOV-01- Válvula solenoide para recirculação de lodo ZSO-03- Sensor de posição para válvula solenoide de recirculação de lodo
8	TQ-AER-01 e TQ-AER-02- Tanques de aeração	Tanques de aeração responsáveis pelo tratamento biológico do efluente	LSH-04 – Sensor de nível de alta do tanque de aeração TQ-AER-01 LSL-04 - Sensor de nível de baixa do tanque de aeração TQ-AER-01 AT-02-TT-02 – Sonda multiparâmetro de temperatura do TQ-AER-01 AT-02-OD-02 – Sonda multiparâmetro de oxigênio dissolvido do TQ-AER-01 SOV-05- Válvula solenoide de abertura de ar do soprador do TQ-AER-01 SIC-SOP-01- Controlador de vazão do soprador do TQ-AER-01 LSH-05 – Sensor de nível de alta do tanque de aeração TQ-AER-02 LSL-05 - Sensor de nível de baixa do tanque de aeração TQ-AER-02 AT-02-TT-03— Sonda multiparâmetro de temperatura do TQ-AER-02 AT-02-OD-03 – Sonda multiparâmetro de oxigênio dissolvido do TQ-AER-02 SOV-06- Válvula solenoide de

			<p>abertura de ar do soprador do TQ-AER-02</p> <p>SIC-SOP-02- Controlador de vazão do soprador do TQ-AER-02</p>
9	SOP-01 e SOP-02 – Sopradores de ar	Sopradores de ar responsáveis pela aeração dos tanques TQ-AER-01 e TQ-AER-02	<p>HV-07 – Válvula manual borboleta a jusante do SOP-01</p> <p>HV-08- Válvula manual a jusante do SOP-02</p> <p>PI-02- Manômetro de pressão a jusante do SOP-01</p> <p>PI-03- Manômetro de pressão a jusante do SOP-02</p> <p>SIC-SOP-01- Controlador de vazão do soprador SOP-01</p> <p>SIC-SOP-02- Controlador de vazão do soprador SOP-02</p> <p>SOV-05- Válvula solenoide de abertura de ar do soprador do TQ-AER-01</p> <p>SOV-06- Válvula solenoide de abertura de ar do soprador do TQ-AER-02</p>
10	CX-TQ-DEC- Caixa de distribuição para o tanque de decantação	Caixa de distribuição do efluente proveniente do tanque de aeração para o tanque de decantação	-
11	TQ-DEC-01 e TQ-DEC-02 – Tanques de decantação(sedimentação) circulares	Tanques circulares responsáveis pela decantação do lodo proveniente do tratamento biológico	<p>SIC – RDS-02 – Controlador de velocidade da pista articulada do decantador TQ-DEC-02</p> <p>SIC – RDS-01 – Controlador de velocidade da pista articulada do decantador TQ-DEC-01</p>
12	PARSHALL-01- Calha Parshal 03	Calha Parshall responsável pela medição da vazão do efluente tratado, assim como o pH e oxigênio dissolvido	<p>FT-05 – Transmissor de vazão de saída do efluente tratado</p> <p>AT-04-PH-04- Sonda multiparâmetro de pH da saída do efluente tratado</p> <p>AT-04-OD-04- Sonda multiparâmetro de oxigênio dissolvido</p>
13	TQ-ELV-ESC- Tanque de espuma	Tanque de elevatória para remoção de espuma do tanque dos decantadores	<p>BEE-10 – Bomba centrífuga</p> <p>LSL-10- Sensor de nível baixo da elevatória de espuma</p> <p>LSH-10- Sensor de nível alto da elevatória de espuma</p> <p>HV – XX – Válvula manual com retenção de fluxo reverso à jusante da bomba BEE-10</p>
14	TQ-ELV-LD-01- Elevatória de lodo	Tanque de elevatória de lodo responsável pela recirculação do lodo para os tanques de aeração TQ-AER-01 e TQ-AER-02 e para o tanque de lodo	<p>BEL-01- Bomba centrífuga</p> <p>BEL -02- Bomba centrífuga submersível</p> <p>SIC- BEL -01- Controlador de velocidade da bomba BEL-01</p> <p>SIC- BEL -02- Controlador de velocidade da bomba BEL-02</p> <p>FT-04 – Medidor de vazão de saída de lodo</p> <p>HV -12 – Válvula manual de entrada da elevatória de lodo</p> <p>HV -13 – Válvula manual de entrada da elevatória de lodo</p> <p>HV -10 – Válvula manual à montante da bomba BEL-01</p> <p>HV -11 – Válvula manual à montante da bomba BEL-02</p> <p>HV -14 – Válvula manual à</p>

			<p>jusante da bomba BEL-01 HV -15 – Válvula manual à jusante da bomba BEL-02 HV-05-Válvula manual borboleta para recirculação de lodo</p>
15	TQ-TRAN-LD – Tanque de lodo	Tanque responsável pelo armazenamento de lodo	<p>LSL-07 – Sensor de nível de baixa LSH – Sensor de nível de alta BTL-01 – Bomba helicoidal 01 BTL-02 – Bomba helicoidal 02 HV- 31 – Válvula manual com retenção de fluxo a jusante da bomba BTL-01 HV-32- Válvula manual com retenção de fluxo a jusante da bomba BTL-02 SIC-BTL- Indicador controlador da bomba misturadora de lodo SIC-BTL-01- Indicador controlador da bomba BTL-01 SIC-BTL-02- Indicador controlador da bomba BTL-02 HV-05-Válvula manual borboleta para recirculação de lodo SOV-01 – Válvula solenoide de entrada lodo</p>
16	ADEN-01- Adensador Dinâmico + TQ-LD-ADEN – Tanque de recebimento de lodo adensado	Etapa responsável pela desidratação do lodo e adensamento	<p>LSL- Sensor de nível baixo do TQ-LD-ADEN LSH- Sensor de nível alto do TQ-LD-ADEN HV-23- Válvula manual de suprimento de água para o ADEN-01 BLA-01- Bomba helicoidal a jusante do TA-LD-ADEN MISTURADOR 01- Misturador lodo com polímero MISTURADOR 02- Misturador lodo adensado+ polímero SIC-YX- Controlador de velocidade de giro do adensador SIC-YY- Controlador de velocidade de giro do reator flutuador PI-YY – Manômetro de pressão</p>
17	CEN-01 – Centrífuga do tipo tambor	Etapa responsável pela desidratação e suprimento de polímero	<p>SIC- YXX- Controlador de velocidade de giro da centrífuga HV-22- Válvula manual mãe de suprimento de água</p>
18	Tanque de polímero	Tanque responsável pelo preparo de polímero para o adensador e centrífuga	<p>LSL-08- Sensor de nível baixo do tanque de polímero Controlador de velocidade de giro do mixer HV-16 – Válvula manual se suprimento de polímero BDP-01- Bomba helicoidal de polímero BDP-02- Bomba helicoidal de polímero HV-17 – Válvula manual de suprimento de polímero a montante da bomba BDP-01 HV-18 – Válvula manual de suprimento de polímero a montante da bomba BDP-02</p>

			HV-21- Válvula manual a jusante da bomba BDP-01 HV-20- Válvula manual a jusante da bomba BDP-02 HV-26- Válvula manual de suprimento de água para o tanque de polímero HV-25- Válvula manual a montante da válvula HV-25 para suprimento de água HV-22- Válvula manual mãe de suprimento de água
--	--	--	---

No total foram selecionados 18 “nós” de estudo. É importante destacar que alguns sensores e válvulas fazem parte de mais de uma envoltória, pois algumas estratégias de controle envolvem mais de uma etapa. Após a definição dos nós de estudo, a análise de risco foi realizada para cada nó segundo metodologia proposta.

6.5. Priorização da qualificação dos instrumentos e análise dos riscos

A seguir serão apresentados os resultados e a discussão para cada nó de estudo.

6.5.1. NÓ 1 - TQ-ELV-02

Neste nó de estudo em específico, foram analisados três parâmetros. Os parâmetros, a palavra-chave e os respectivos desvios são listados na Tabela 30 a seguir.

Tabela 30- Desvios - Nó 1

Parâmetro	Palavra-chave	Desvio
Nível	Mais	Nível de afluente acima do especificado no projeto
	Menos	Nível de afluente abaixo do especificado no projeto
	Não	Sem nível na elevatória
Vazão (à montante)	Mais	Vazão de afluente na entrada da elevatória acima do valor especificado no projeto
	Menos	Vazão de afluente na entrada da elevatória

		abaixo do valor especificado no projeto
	Não	Sem vazão de afluente na entrada da elevatória acima do valor especificado no projeto
Vazão (à jusante)	Mais	Vazão de afluente após bombas centrífugas da elevatória acima do valor especificado no projeto
	Menos	Vazão de afluente após bombas centrífugas da elevatória abaixo do valor especificado no projeto
	Não	Sem vazão de afluente após bombas centrífugas da elevatória
Pressão (à jusante)	Maior	Pressão alta após bombas centrífugas

Após a análise do time multidisciplinar feita através dos questionários, os desvios foram classificados de acordo com os níveis de risco preestabelecido. O Gráfico 12 mostra os resultados.

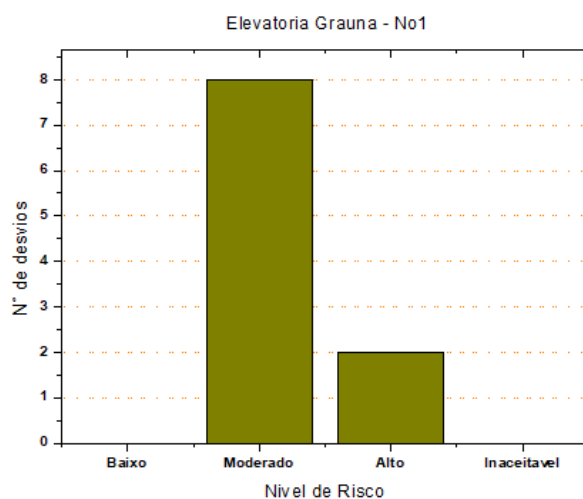


Gráfico 12-Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 1

No total, foram identificados dez desvios, nos quais oito foram classificados como “moderado” e dois como risco “alto”. Os dois desvios classificados como risco “alto” foram desvios associados ao aumento de vazão de afluente na entrada da elevatória e o aumento de pressão após bombas centrífugas submersas. A seguir, na Tabela 31, se tem o resumo dos desvios,

com a classificação da probabilidade de “ocorrência (O)”, “severidade (S)” e “detectabilidade (D)”. A pontuação (P) também foi calculada de acordo com o nível de detectabilidade, que permitiu estabelecer o critério de priorização do risco.

Tabela 31- Resultados da análise de risco - N°1

Parâmetro	Palavra-chave	(O)		(S)		Risco	(D)	(P)	Critério Priorização
Nível	Mais	Possível	3	Baixa	2	Moderado	3	2,0	Baixo
	Menos	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	3	1,33	Baixo
	Não	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	3	2,0	Baixo
Vazão (à montante)	Mais	Possível	3	Alta	4	Alto	3	4,0	Baixo
	Menos	Possível	3	Baixa	2	Moderado	3	2,0	Baixo
	Não	Possível	3	Baixa	2	Moderado	2	3,0	Baixo
Vazão (à jusante)	Mais	Improvável	2	Média	3	Moderado	3	2,0	Baixo
	Menos	Improvável	2	Média	3	Moderado	3	2,0	Baixo
	Não	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	2	2,0	Baixo
Pressão (à jusante)	Maior	Possível	3	Alta	4	Alto	1	12	Alto

O risco classificado como “alto” associado ao desvio de mais vazão a montante da elevatória, obteve essa classificação devido ao alto nível de severidade, pois acarretaria a sobrecarga das etapas posteriores, assim como o aumento da carga orgânica que pode acarretar a ineficiência do tratamento do efluente, gerando a possibilidade de consequência do despejo de efluente não tratado no corpo receptor, transbordamento do tanque em caso da vazão da bomba não ser suficiente, recebimento de multas ambientais e não conformidade. As principais causas identificadas do desvio foram o envio do efluente pela central de inativação fora da vazão especificada e aumento do

volume de efluente a ser tratado pelo aumento de produção dos processos. Apesar disso, o critério de priorização do risco foi dado como “baixo” devido à possibilidade de detecção, de forma indireta, do sensor de nível de alta (LSH-02), classificado como nível de detecção “moderado”. Adicionalmente, devido à alta severidade, recomendou-se alinhamento prévio com central de inativação para evitar desvios de vazão, a verificação da possível instalação de um medidor de vazão na entrada do tanque e periodicidade da verificação da validade de calibração dos instrumentos. Neste caso, em termos de priorização na qualificação dos instrumentos dessa etapa, a priorização se daria pelo sensor de nível de alta (LSH-02), pois o instrumento tem o potencial de diminuir o critério de tratamento do risco, obtendo neste caso a pontuação de 4.

Em relação aos níveis de risco “moderado”, ressalta-se aqueles associados aos desvios de mais e menos vazão após bombas centrífugas submersas classificadas como severidade “média”. As principais causas identificadas pela equipe para os dois desvios foram a possibilidade de falha das bombas BEB-01 e BEB-02, falha no inversor de frequência e falha na execução do procedimento de configuração da vazão da bomba. Apesar de classificado como severidade “média” e probabilidade de ocorrência como “improvável”, seu nível de detectabilidade foi “moderada” devido a presença do medidor de vazão FT-03 após as bombas. Dessa forma o medidor de vazão é o elemento de identificação do desvio, favorecendo a identificação e ações para evitar consequências de, por exemplo, sobrecarregamento das etapas posteriores com o aumento da vazão. As ações e recomendações para se evitar os desvios foram a manutenção periódica das bombas BEB-01 e BEB-02 e verificação da calibração do medidor de vazão FT-03. Desse modo, o medidor de vazão FT-03 seria o segundo instrumento a ser qualificado nesta etapa. Seguindo o racional, o último instrumento, mas não menos importante, a ser qualificado seria o sensor de nível de baixa (LSL-02) que foi associado aos riscos “moderados”.

É importante ressaltar que como saída principal da análise de risco, foi possível estabelecer também a priorização para o tratamento dos riscos através do ranqueamento através da pontuação. A maior pontuação identificada foi 12, associado ao desvio de aumento de pressão após bombas BEB-01 e BEB-02, que foi classificado como risco “alto”. Este resultado se deu devido à falta de

elemento de identificação do desvio e por conta das severidades das consequências, que pode danificar as bombas e romper a tubulação, além da possibilidade de gerar danos à saúde dos colaboradores e contaminação do solo através do vazamento do efluente em caso de rompimento da tubulação. As principais causas relatadas foram as válvulas manuais HV-05 e HV-06 à jusante das bombas fechadas por falha na execução do procedimento e incrustações no interior das tubulações. Como ações e recomendações para evitar este risco, foi sugerido a instalação de um indicador de pressão após as bombas centrífugas, manutenção periódica das bombas e válvulas e treinamento periódico dos operadores.

Apesar de ser considerado um risco “moderado”, o desvio de “mais nível” pode gerar consequências de alta relevância para o meio ambiente, pois o transbordamento do conteúdo da elevatória pode contaminar o solo e o corpo receptor. Para esse desvio em particular destaca-se um ponto importante de melhoria, pois após visitas técnicas na ETE foi identificado que no projeto da elevatória foi construído um sistema para a destinação do efluente, em caso do aumento do nível na elevatória fora do especificado, para a rede de esgoto. Portanto, caso o desvio ocorra, o efluente é descartado no meio ambiente sem tratamento. Devido a isso, a pequeno prazo, sugere-se alinhamento prévio com a área produtiva e a central de inativação para evitar o envio de volume de efluente fora do esperado e a longo prazo a construção de um tanque pulmão ou um *by-pass* para a outra elevatória.

6.5.2. NÓ 2 - TQ-ELV-01

Assim como o nó 1, neste nó de estudo foram analisados os mesmos parâmetros, pois o sistema é o mesmo. Os parâmetros, a palavra-chave e os respectivos desvios são listados na Tabela 32.

Tabela 32 - Desvios - Nó 2

Parâmetro	Palavra-chave	Desvio
Nível	Mais	Nível de afluente acima do especificado no projeto
	Menos	Nível de afluente abaixo do especificado no projeto
	Não	Sem nível na elevatória
Vazão (à montante)	Mais	Vazão de afluente na entrada da elevatória acima do valor especificado no projeto
	Menos	Vazão de afluente na entrada da elevatória abaixo do valor especificado no projeto
	Não	Sem vazão de afluente na entrada da elevatória acima do valor especificado no projeto
Vazão (à jusante)	Mais	Vazão de afluente após bombas centrífugas da elevatória acima do valor especificado no projeto
	Menos	Vazão de afluente após bombas centrífugas da elevatória abaixo do valor especificado no projeto
	Não	Sem vazão de afluente após bombas centrífugas da elevatória
Pressão (à jusante)	Maior	Pressão alta após bombas centrífugas

Por conta das similaridades dos sistemas, o quantitativo de desvios e suas respectivas classificações foram as mesmas do nó 1, conforme Gráfico 13.

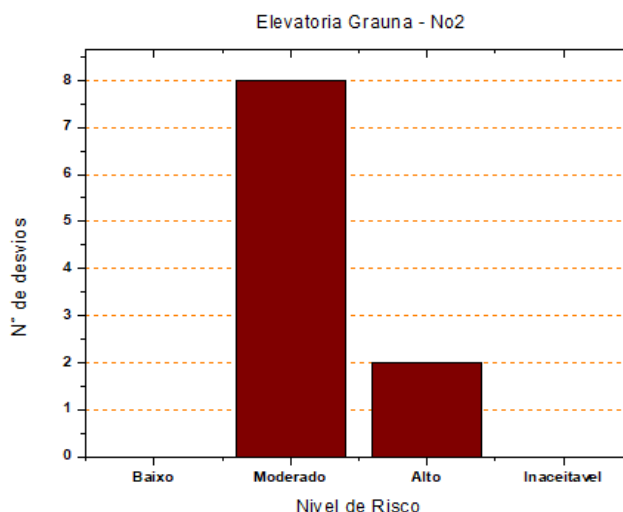


Gráfico 13 - Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 2

No total, foram identificados dez desvios, nos quais oito foram classificados como “moderado” e dois como risco “alto”. Assim como o nó 1, dois riscos foram classificados como “alto”, associados ao aumento de vazão de afluente na entrada da elevatória e o aumento de pressão após bombas centrifugas submersas. A seguir na Tabela 33 se tem o resumo dos desvios, com a classificação da probabilidade de ocorrência, severidade, nível de detecção e nível de risco calculado.

Tabela 33- Resultados da análise de risco - Nó2

Parâmetro	Palavra-chave	(O)		(S)		Risco	(D)	(P)	Critério Priorização
Nível	Mais	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	3	1,33	Baixo
	Menos	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	3	1,33	Baixo
	Não	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	2	2,0	Baixo
Vazão (à montante)	Mais	Improvável	2	Alta	4	Alto	3	2,67	Baixo
	Menos	Possível	3	Baixa	2	Moderado	3	2,0	Baixo
	Não	Possível	3	Baixa	2	Moderado	2	3,0	Baixo
Vazão (à jusante)	Mais	Improvável	2	Média	3	Moderado	3	2,0	Baixo
	Menos	Improvável	2	Média	3	Moderado	3	2,0	Baixo

	Não	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	2	2,0	Baixo
Pressão (à jusante)	Maior	Possível	3	Alta	4	Alto	1	12,0	Alto

Um fator interessante dos resultados apresentados na Tabela 33 é que apesar das classificações dos riscos terem sido as mesmas do nó 1 devido à similaridade dos sistemas, alguns desvios tiveram diferença na classificação da probabilidade de ocorrência. Pode-se citar o desvio associado ao aumento de nível, que teve sua probabilidade de ocorrência diminuída como “improvável” por conta de ser um efluente sanitário que não tem variações bruscas de volume de efluente gerado comparado ao efluente industrial. O mesmo ocorreu com o desvio associado ao aumento de vazão a montante da elevatória graúna onde sua ocorrência foi classificada como “improvável”, por conta da mesma justificativa em relação ao aumento de nível. Apesar disso, o risco foi classificado como “alto” por conta da sua severidade. As consequências identificadas pela equipe multidisciplinar foram a sobrecarga das etapas seguintes, aumento da carga orgânica que pode acarretar a ineficiência do tratamento do efluente e a possibilidade de consequência do despejo de efluente não tratado no corpo receptor. De forma semelhante ao primeiro nó, a priorização do risco foi classificada como baixa devido a possibilidade de detecção através do sensor de nível de alta (LSH-01), classificado como moderada. Por conta do seu potencial de identificação de um desvio classificado como “alto”, a priorização se daria pelo sensor de nível de alta (LSH-01).

Em relação aos riscos “moderados”, ressalta-se os desvios de mais e menos vazão após bombas centrífugas submersas. As principais causas identificadas pela equipe foram a possibilidade de falha das bombas BEB-03 e BEB-04, falha no inversor de frequência e falha na execução do procedimento de configuração da vazão da bomba pelo operador. Assim como a importância do medidor de vazão FT-03, o medidor de vazão FT-01 permitiu que o critério para o tratamento do risco fosse diminuído, apesar de classificado como nível de detecção “moderado”. As ações e recomendações para se evitar o desvio foram a manutenção periódica das bombas BEB-03 e BEB-04 e verificação da calibração do medidor de vazão FT-01. Desse modo, o medidor de vazão FT-01

seria o segundo instrumento a ser qualificado nesta etapa após o sensor de nível de alta LSH-01. O último instrumento, mas não menos importante, a ser qualificado seria o sensor de nível de baixa (LSL-01) que foi associado ao risco “moderado” e de “baixa” severidade de menos nível e de sem nível, de acordo com a equipe multidisciplinar.

Como resultado da análise de risco, o risco associado à possibilidade de aumento de pressão após as bombas centrífugas submersas foi identificado como prioritário para se evitar e tratar. O risco foi classificado como “alto”, apresentando critério de priorização também “alto” e pontuação 12. As causas relatadas foram as válvulas manuais HV-03 e HV-04 à jusante das bombas fechadas por falha na execução do procedimento e incrustações no interior das tubulações. Estas causas também foram sugeridas no trabalho de MUTLU *et.al.* (2016), que considerou o aumento de pressão após bombas como um desvio crítico em seu estudo, principalmente porque na ETE analisada havia produção de biogás e sua utilização na operação. Como ações e recomendações para evitar este risco, foi sugerido a instalação de um indicador de pressão após as bombas centrífugas, manutenção periódica das bombas e válvulas e treinamento periódico dos operadores

6.5.3. NÓ 3 – Calha Parshal 01

Os parâmetros, a palavra-chave e os respectivos desvios do nó 3 são listados na Tabela 34.

Tabela 34- Desvios - Nó 3

Parâmetro	Palavra-chave	Desvio
Nível	Mais	Nível de efluente acima do especificado no projeto na Calha Parshal 01
	Menos	Nível de efluente abaixo do especificado no projeto na Calha Parshal 01
	Não	Sem nível na Calha Parshal 01
Vazão (à)	Mais	Vazão de efluente na entrada na Calha Parshal 01 acima do valor especificado no

montante)		projeto
	Menos	Vazão de efluente na entrada na Calha Parshal 01 abaixo do valor especificado no projeto
	Não	Sem vazão de efluente na entrada da Calha Parshal 01 acima do valor especificado no projeto
Vazão (à jusante)	Mais	Vazão de efluente após bombas centrífugas da elevatória acima do valor especificado no projeto
	Menos	Vazão de efluente após bombas centrífugas da elevatória abaixo do valor especificado no projeto
	Não	Sem vazão de efluente após bombas centrífugas da elevatória
Retenção	Menos	Baixa retenção de sólidos no gradeamento da Calha Parshal 01
	Não	Nenhuma retenção de sólidos no gradeamento da Calha Parshal 01

Após análise da equipe multidisciplinar, foram identificados onze desvios no nó de estudo em questão, dos quais seis foram classificados como risco “alto” e cinco como risco “moderado”, conforme Gráfico 14.

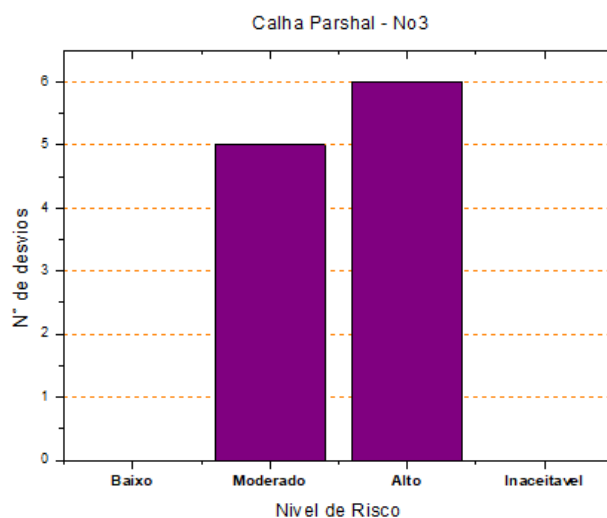


Gráfico 14- Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 3

Na Tabela 35 o resumo dos desvios identificados para essa etapa, com a classificação da probabilidade de ocorrência, severidade, nível de detecção e nível de risco calculado.

Tabela 35- Resultados da análise de risco - N3

Parâmetro	Palavra-chave	(O)		(S)		Risco	(D)	(P)	Critério Priorização
Nível	Mais	Possível	3	Média	3	Alto	3	3,0	Baixo
	Menos	Possível	3	Baixa	2	Moderado	3	3,0	Baixo
	Não	Improvável	2	Média	3	Moderado	2	3,0	Baixo
Vazão (à montante)	Mais	Possível	3	Média	3	Alto	3	3,0	Baixo
	Menos	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	3	1,33	Baixo
	Não	Possível	3	Baixa	2	Moderado	3	2,0	Baixo
Vazão (à jusante)	Mais	Possível	3	Média	3	Alto	3	3,0	Baixo
	Menos	Possível	3	Média	3	Alto	3	3,0	Baixo
	Não	Possível	3	Baixa	2	Moderado	3	2,0	Baixo
Retenção	Menos	Possível	3	Média	3	Alto	2	4,5	Baixo
	Não	Possível	3	Média	3	Alto	2	4,5	Baixo

Considerando a função da etapa que é principalmente a medição da vazão do efluente, visto que a etapa também é responsável pela remoção de sólidos grosseiros e remoção de areia, dois desvios associados ao aumento de vazão foram identificados e classificados como risco “alto”, tanto a montante da Calha Parshall quanto à jusante. A justificativa para essa classificação foram a severidade das consequências para o processo, pois o aumento da vazão na entrada da Calha pode desencadear a perda de eficiência na remoção de areia e ocasionar o arraste de sólidos para as etapas posteriores, já que para a remoção da areia é necessário a tranquilização da vazão do efluente. As principais causas identificadas para este desvio foram o envio fora da vazão

especificada pela central de inativação e aumento da vazão de efluente gerado pelos processos produtivos. As mesmas causas foram relatadas para o desvio de mais vazão na saída da Calha. Vale ressaltar outro risco classificado como “alto” associado ao desvio de menos vazão na saída da Calha. Apesar de severidade “média”, o desvio foi classificado como probabilidade de ocorrência “possível”, pois as causas identificadas foram associadas a falha de execução dos procedimentos de limpeza das grades e remoção de areia da Calha, que poderiam diminuir a vazão na Calha. Além disso, causas menos prováveis como vazamento na estrutura da Calha também foram relatadas. Apesar de classificado como risco “alto”, todos os riscos em relação a desvio de vazão tiveram critério de priorização “baixo” e com pontuação 3, pois tiveram nível de detecção “moderado” devido a presença do medidor de vazão FT-01, mostrando a importância desse instrumento para tanto para essa etapa quanto para a etapa do nó 2. Recomendações e ações foram sugeridas para se evitar os riscos, como alinhamento prévio com a central de inativação para evitar desvios bruscos de vazão, treinamento periódico dos operadores nos procedimentos, manutenção periódica da Calha e verificação da calibração do medidor de vazão FT-01.

Pelo ponto de vista de priorização para o tratamento dos riscos identificados, a maior pontuação obtida, apesar do critério ser “baixo”, foi de 4,5 associado ao parâmetro de retenção de sólidos. Este resultado se deu pela classificação do nível de detecção que foi considerado “remoto”, visto que não há dispositivos para identificação do desvio. Como sugestão de ações e recomendações, foram sugeridos periodicidade na limpeza da Calha Parshal e possibilidade de ensaios off-line para verificação da eficiência de remoção. Como já identificado no nó anterior, nesta etapa, o FT-01 seria o instrumento a ser priorizado para qualificação.

6.5.4. NÓ 4 – Calha Parshal 02

Esta etapa é responsável pela medição da vazão da soma da vazão do efluente sanitário e industrial, conforme já citado anteriormente. Na Tabela 36 são mostrados os parâmetros e seus respectivos desvios.

Tabela 36 - Desvios - Nó 4

Parâmetro	Palavra-chave	Desvio
Nível	Mais	Nível de efluente acima do especificado no projeto na Calha Parshal 02
	Menos	Nível de efluente abaixo do especificado no projeto na Calha Parshal 02
	Não	Sem nível na Calha Parshal 02
Vazão (à montante)	Mais	Vazão de efluente na entrada na Calha Parshal 01 acima do valor especificado no projeto
	Menos	Vazão de efluente na entrada na Calha Parshal 02 abaixo do valor especificado no projeto
	Não	Sem vazão de efluente na entrada da Calha Parshal 02 acima do valor especificado no projeto
Vazão (à jusante)	Mais	Vazão de efluente após bombas centrífugas da elevatória acima do valor especificado no projeto
	Menos	Vazão de efluente após bombas centrífugas da elevatória abaixo do valor especificado no projeto
	Não	Sem vazão de efluente após bombas centrífugas da elevatória
Retenção	Menos	Baixa retenção de sólidos no gradeamento da Calha Parshal 02
	Não	Nenhuma retenção de sólidos no gradeamento da Calha Parshal 02

Após análise da equipe multidisciplinar, foram identificados onze desvios no nó de estudo em questão, dos quais seis foram classificados como risco

“moderado” e cinco como risco “alto”, conforme o Gráfico 15.

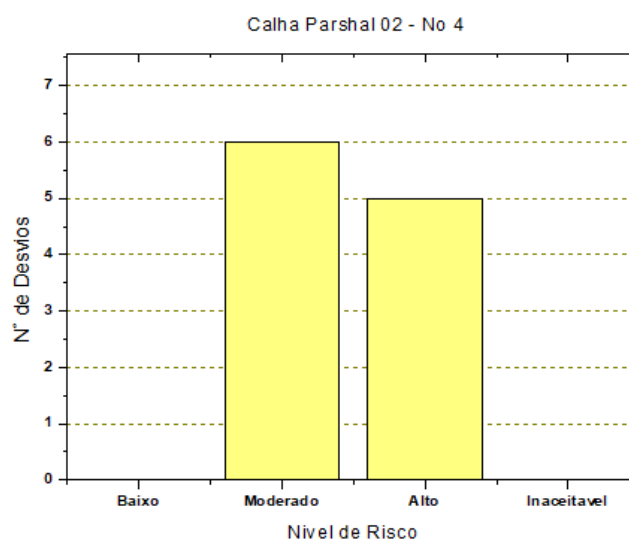


Gráfico 15 - Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 4

Apesar de ser o mesmo sistema estudado do nó anterior, a Calha Parshal 02 obteve menos riscos classificados como “alto”. Isso se deve principalmente porque alguns dos riscos avaliados, como por exemplo, menos retenção de sólidos, tem sua probabilidade de ocorrência diminuída por conta dos sistemas anteriores que podem evitá-los. Na Tabela 37 é apresentado o compilado dos resultados.

Tabela 37- Resultados da análise de risco - Nó4

Parâmetro	Palavra-chave	(O)		(S)		Risco	(D)	(P)	Critério Priorização
Nível	Mais	Provável	4	Média	3	Alto	3	4,	Baixo
	Menos	Provável	4	Média	3	Alto	3	2,66	Baixo
	Não	Improvável	2	Média	3	Moderado	2	3,0	Baixo
Vazão (à montante)	Mais	Possível	3	Média	3	Alto	3	3,0	Baixo
	Menos	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	3	1,33	Baixo
	Não	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	3	1,33	Baixo
Vazão (à	Mais	Possível	3	Média	3	Alto	3	3,0	Baixo

<i>jusante)</i>	Menos	Possível	3	Média	3	Alto	3	3,0	Baixo
	Não	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	3	1,33	Baixo
Retenção	Menos	Improvável	2	Média	3	Moderado	2	3,0	Baixo
	Não	Possível	3	Média	3	Moderado	2	3,0	Baixo

Observa-se, de acordo com os resultados acima, que se comparado ao nó anterior, o desvio associado ao aumento de nível foi considerado como “alto”. Essa classificação foi baseada no aumento da probabilidade de ocorrência do evento, pois a jusante da Calha Parshal 02 há duas válvulas manuais (HV-01 e HV-02), que podem restringir o fluxo do efluente caso estejam fechadas. Esta foi uma das principais causas relatadas pela equipe multidisciplinar para a ocorrência do evento. Adicionalmente, acúmulo de areia na Calha e obstrução nas tubulações e grades também foram citadas, apesar de menos prováveis de ocorrer. As consequências abrangeram a contaminação do solo e dos operadores em caso de transbordamento e ineficiência na remoção dos sólidos. Identificação semelhante foi feita por LIMA *et.al.* (2021) em seu trabalho, que sinalizou riscos para os operadores em unidades de Calha Parshal, como escorregamento em caso de vazamento. Em termos de detecção, apesar do parâmetro estudado ser diferente, foi citado o medidor de vazão FT-02, que poderia auxiliar na detecção do aumento do nível. Por conta disso, obteve nível de detecção “moderado”, obtendo pontuação de 4. Em termos de priorização para evitar o risco, este seria o primeiro a ser considerado.

Como recomendações, foram sugeridos a instalação de um instrumento de detecção de nível, a verificação da validade de calibração do instrumento, manutenção periódica da Calha, a construção de um *by-pass* da Calha e treinamentos periódicos dos operadores.

Resultado semelhante foi obtido na avaliação do desvio de “menos nível”. Neste caso, a principal causa identificada foi a válvula manual HV-02 aberta, que deve ficar durante o processo fechada. Além disso, foi citado o vazamento pela estrutura da Calha e obstrução das tubulações de entrada. O nível de detecção do considerado “moderado” devido a presença do medidor de vazão FT-02. Neste caso, as recomendações foram as mesmas sugeridas pelo desvio anterior,

mas enfatizando o treinamento dos operadores e verificação da calibração do medidor de vazão.

Foram obtidos outros riscos classificados como “alto”, que foram associados ao parâmetro de vazão. As causas e consequências foram as mesmas relatadas na análise do nó anterior. Em termos de detecção, novamente o medidor de vazão FT-02 foi citado como principal instrumento para detecção do desvio, diminuindo o seu critério de tratamento do risco. Desse modo, nesta etapa, o principal instrumento principal a ser priorizado para qualificação seria o medidor de vazão FT-02.

6.5.5. NÓ 5– Tanques ácido-base

A envoltória do nó em questão é constituída por dois tanques, um para solução ácida e outro para solução básica, além de duas bombas peristálticas para bombeamento do conteúdo dos tanques para o tanque de equalização. Foram avaliados três parâmetros: nível, vazão e pressão. Na Tabela 38 são apresentados os parâmetros estudados e as respectivas palavras-chaves utilizadas.

Tabela 38- Desvios - Nó 5

Parâmetro	Palavra-chave	Desvio
Nível	Menos	Nível de solução ácida ou básica abaixo do especificado
	Não	Sem nível se solução ácida ou básica nos tanques
Vazão (à jusante)	Mais	Vazão de solução após bombas peristálticas acima do valor especificado
	Menos	Vazão de solução após bombas peristálticas abaixo do valor especificado
	Não	Sem vazão de solução após bombas peristálticas
Pressão	Mais	Aumento de pressão após bombas peristálticas

No Gráfico 16 é mostrado o quantitativo de desvios de acordo com sua classificação de risco.

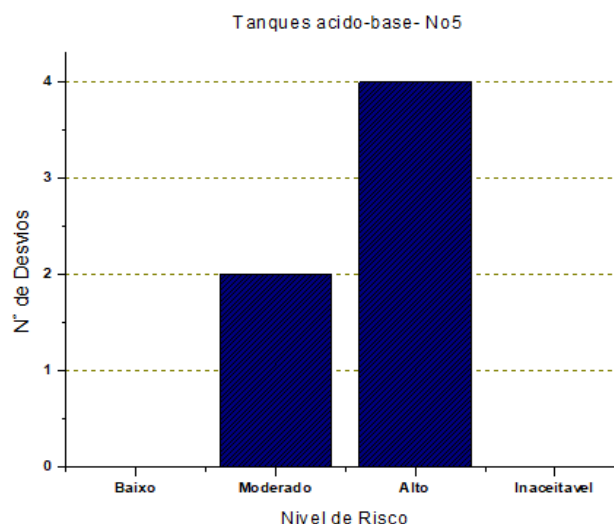


Gráfico 16 - Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 5

Verifica-se que dos seis desvios identificados, quatro foram classificados como risco “alto” e dois como risco “moderado”. Na avaliação, percebeu-se que o parâmetro de vazão é um parâmetro crítico para esta etapa, pois dos “quatro” desvios classificados como “alto”, três estão relacionados com o parâmetro de vazão. Na Tabela 39 se tem a avaliação e classificação de cada desvio.

Tabela 39 - Resultados da análise de risco Nó 5

Parâmetro	Palavra-chave	(O)		(S)		Risco	(D)	(P)	Critério Priorização
Nível	Menos	Provável	4	Média	3	Alto	2	4,5	Baixo
	Não	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	2	2,0	Baixo
Vazão (à jusante das bombas)	Mais	Possível	3	Média	3	Alto	2	4,5	Baixo
	Menos	Possível	3	Média	3	Alto	2	4,5	Baixo
	Não	Possível	3	Média	3	Alto	2	4,5	Baixo
Pressão (à jusante das)	Mais	Possível	3	Baixa	2	Moderado	2	3,0	Baixo

bombas)									
---------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fator interessante dos resultados mostrados acima, é que todas as classificações de nível de detecção dos desvios analisados foram classificadas como “remota”. Esse resultado se deve à falta de instrumentação do sistema, considerando a envoltória estabelecida para análise. O sistema não possui nenhum sistema de controle, sendo o acionamento das bombas peristálticas feitas manualmente de acordo com a variação do pH no tanque de equalização, que é mostrado o valor em campo e na sala de controle. O sensor que faz esse monitoramento é o sensor de pH AT-01-PH-01, localizado no tanque de equalização. Apesar de não estar na envoltória de estudo do nó, foi mencionado pela equipe multidisciplinar para identificação dos desvios identificados associados a variações de vazão, como uma forma indireta de identificação.

Conforme comentado, como não há instrumentos de monitoramento e controle, não houve instrumentos a serem priorizados para qualificação neste nó. Entretanto, como principal papel da análise de risco, foi possível estabelecer a priorização para se evitar e tratar os riscos identificados. As maiores pontuações encontrados foram de 4,5, sendo um deles o desvio de “menos nível” de solução ácido e base. As principais causas identificadas foram a possibilidade de vazamento nos tanques e falha na execução de procedimento na adição dos volumes adequados para o processo. A falta de solução a ser utilizada na área também foi citada, mas com menos frequência. A principal consequência associada ao desvio foi a falta de solução suficiente para o controle do pH durante a etapa de equalização, o que impactaria em um efluente com o pH fora das condições especificadas para o processo. Como ações e recomendações, sugeriu-se a elaboração de treinamentos periódicos dos operadores da planta, assim como a instalação de sistema de monitoramento ou controle de nível dos tanques de solução ácida e básica.

Os outros três desvios classificados como risco “alto”, conforme citado anteriormente, foram referentes aos desvios no parâmetro de vazão. As principais causas em comum nos três desvios foram falha na configuração da vazão das bombas peristálticas, além de vazamento nas mangueiras e instalação da mangueira no cabeçote da bomba com diâmetro inadequado. Em

relação aos desvios de “menos vazão” e “sem vazão” à jusante da bomba, também foi citado a possibilidade de obstrução na linha de saída das bombas. As severidades foram consideradas moderadas, visto que impactam o controle e ajuste do pH do tanque de equalização. O nível de detecção foi “remoto”, sendo citado a detecção visual e o sensor de pH AT-01-PH-01 do tanque de equalização. Como recomendações e ações, sugeriu-se a manutenção periódica dos equipamentos e principalmente os treinamentos periódicos dos operadores. Recomendações semelhantes foram sugeridas por FRATTAROLA *et.al.* (2018), que além de sugerir o treinamento periódico dos operadores, sinalizou a importância de incorporar aos treinamentos noções de segurança de processo. O autor também sugere a visualização diária das tubulações de saída da etapa, objetivando identificar obstruções. Para este desvio, foi sugerido a implementação de uma estratégia de controle entre a vazão da bomba e o pH no tanque de equalização, objetivando evitar as falhas humanas.

6.5.6. NÓ 6– Tanque de Equalização

Neste nó foram avaliados cinco parâmetros: nível, vazão, temperatura, pH e rotação. Na Tabela 40 são apresentados os parâmetros estudados e as respectivas palavras-chaves utilizadas.

Tabela 40 - Desvios - Nó 6

Parâmetro	Palavra-chave	Desvio
Nível	Menos	Nível abaixo do especificado no projeto no tanque de equalização
	Não	Sem nível no tanque de equalização
	Mais	Nível acima do especificado no projeto no tanque de equalização
Vazão (à montante)	Mais	Vazão acima do especificado no projeto na entrada do tanque de equalização
	Menos	Vazão abaixo do especificado no projeto na entrada do tanque de equalização
	Não	Sem vazão na entrada do tanque de

		equalização
Temperatura	Mais	Temperatura mais alta do que o especificado no tanque de equalização
pH	Maior	pH acima do especificado no tanque de equalização
	Menor	pH abaixo do especificado no tanque de equalização
Rotação	Sem	Sem agitação no tanque de equalização

No Gráfico 17 é mostrado o quantitativo de desvios de acordo com sua classificação de risco para o nó analisado.

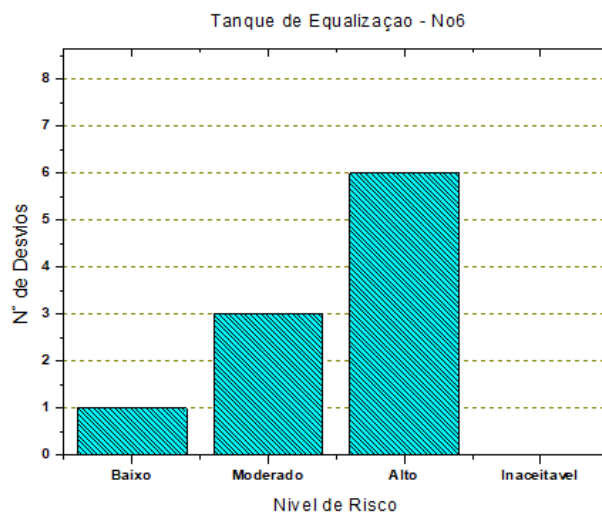


Gráfico 17- Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 6

Foram identificados dez desvios, dos quais seis foram classificados como risco “alto”, três como risco “moderado” e um como risco “baixo”. De acordo com os resultados, percebeu-se que seis dos desvios classificados como “alto”, quatro estão associados aos parâmetros que afetam diretamente a funcionalidade do tanque de equalização, que são os parâmetros de: vazão, pH e temperatura. A Tabela 41 mostra a análise do nó em questão.

Tabela 41 - Resultados da análise de risco N° 6

Parâmetro	Palavra-chave	(O)		(S)		Risco	(D)	(P)	Critério Priorização
Nível	Menos	Possível	3	Média	3	Alto	3	3,0	Baixo
	Não	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	3	1,33	Baixo
	Mais	Possível	3	Média	3	Alto	3	3,0	Baixo
Vazão (à montante)	Mais	Possível	3	Média	3	Alto	2	4,5	Baixo
	Menos	Possível	3	Baixa	2	Moderado	2	3,0	Baixo
	Não	Possível	3	Nenhuma	1	Baixo	3	1,0	Baixo
Temperatura	Mais	Improvável	2	Média	3	Moderado	3	2,0	Baixo
pH	Maior	Possível	3	Média	3	Alto	3	3,0	Baixo
	Menor	Possível	3	Média	3	Alto	3	3,0	Baixo
Agitação	Sem	Possível	3	Média	3	Alto	2	4,5	Baixo

Focando nos desvios que afetam diretamente a funcionalidade da etapa, o desvio de maior pH e menor pH obtiveram classificação de risco “alto”. Este resultado foi consequência da probabilidade de ocorrência, que foi classificada como possível pela equipe multidisciplinar. Apesar dessa classificação, a priorização dos dois desvios é baixa, por conta da presença de o sensor de pH AT-01-PH-01, que permite a detecção do desvio. A principal causa relatada para os desvios foi a falha no próprio sensor de pH AT-01-PH-01, assim como falha na etapa de neutralização na central de inativação, visto que a neutralização do efluente é feita nessa área e o pH somente é medido na estação de efluente no tanque de equalização. Outra causa citada pela equipe multidisciplinar foi a falha na configuração das bombas peristálticas, que foram avaliadas no nó anterior. As principais consequências analisadas foram o impacto negativo que haveria no tratamento biológico na próxima etapa caso o processo prosseguisse com o pH fora do valor adequado, visto que no tratamento biológico o pH estabelecido é na faixa de 5 a 9. O pH fora da faixa acarretaria na ineficiência da degradação

da matéria orgânica e impactaria de forma negativa no meio ambiente caso o efluente fosse descartado no corpo receptor, pois o pH estaria fora do adequado e o efluente não estaria tratado. Além disso, o pH fora da faixa estabelecida pode ocasionar no tanque de equalização a proliferação de microrganismos indesejados para o processo, além de afetar no tempo de residência do efluente no tanque de equalização, já que se o desvio de pH for identificado o mesmo deverá ser tratado com o aumento do tempo de residência do efluente para ajustar o pH. Desse modo, o primeiro elemento de detecção que deveria ser priorizado nessa etapa seria o sensor de pH AT-01-PH-01, pois o mesmo tem o potencial de detectar um risco considerado alto e abaixar o nível de priorização de risco.

Tanto o desvio de menos nível quanto o de mais nível também foram classificados como “alto”, principalmente por conta da classificação da probabilidade de ocorrência que foi de “possível”. Em relação ao desvio de “menos nível”, foi relatado que as principais causas seriam o vazamento na estrutura do tanque, que impactaria na contaminação do solo, a válvula manual HV-01 fechada ou parcialmente fechada, obstrução da linha de entrada e baixo volume de efluente gerado. Além da contaminação do solo em caso de vazamento, o impacto ao processo seria a diminuição do tempo de residência. Já o desvio de mais nível, obteve como principais causas a obstrução da linha de saída e falha no sensor de nível de alta LSH-03. Como consequência, foi sinalizado possível transbordamento do tanque, que acarretaria a contaminação do solo e possível contaminação para o operador. Apesar de classificados como risco “alto”, o nível de detecção foi de “moderado”, devido a presença dos sensores de nível de baixa LSL-03 e de alta LSH-03. Por conta disso, foi sugerido como ações e recomendações a verificação periódica da calibração dos instrumentos, treinamentos periódicos para os operadores visando evitar falhas de procedimento e possibilidade da implementação de estratégia de controle da vazão de entrada com o nível do tanque. Portanto, em termos de priorização de qualificação, os sensores de nível de baixa LSL-03 e de alta LSH-03 seriam os segundos a serem qualificados nessa etapa, pois apesar de risco “alto”, conseguem deixar o critério de tratamento de risco “baixo”,

O desvio associado ao aumento de temperatura no tanque de equalização

foi classificado como risco “moderado”, pois apesar da severidade média, sua probabilidade de ocorrência é improvável. De acordo com a equipe multidisciplinar, diferente do parâmetro de pH, caso houvesse um aumento de temperatura por conta de alguma falha no resfriamento na central de inativação, a temperatura tenderia ao equilíbrio até chegar na etapa de equalização, visto que o efluente perderia calor para o meio ambiente. Entretanto, deve-se salientar que outras causas foram citadas, como a falha no sensor de temperatura AT-01-TT-01. Assim como o pH, as consequências associadas ao aumento de temperatura estão relacionadas ao impacto no tratamento biológico, já que influencia no crescimento da biomassa. Desse modo, o sensor de temperatura AT-01-TT-01 seria o último instrumento a ser qualificado nessa etapa.

Como resultado da análise de risco, a maior pontuação encontrada foi de 4,5, associado ao risco classificado como alto de não ocorrer agitação no tanque de equalização devido à falta de rotação. Vale ressaltar que a equipe multidisciplinar avaliou somente esse desvio associado a esse parâmetro, pois o misturador instalado no tanque de equalização é *on-off* e sem controle de velocidade. Portanto, em relação a priorização dos riscos, o risco de não ocorrer agitação do conteúdo no tanque de equalização deve ser o primeiro a ser evitado, pois impacta na eficiência de homogeneização do conteúdo do tanque. As principais causas identificadas foi o não acionamento do misturador pelo operador e falha do misturador. O nível de detecção foi considerado como “remoto”, pois não há elementos de detecção a não ser detecção visual. Como ações e recomendações, sugeriu-se a verificação e manutenção dos equipamentos, instalação de um alarme de não acionamento do misturador, implementação de estratégia de controle de velocidade do misturador e elaboração de treinamentos periódicos dos colaboradores.

Outro risco classificado como “alto” e com pontuação 3 para ser priorizado seu tratamento, foi o desvio de mais vazão na entrada do tanque de equalização. As principais causas sinalizadas foram a vazão enviada pela central de inativação acima do valor especificado, além do aumento da vazão de efluente gerados pelos processos produzidos. A principal consequência associada a este desvio foi a ineficiência na equalização, pois as chicanas instaladas no tanque de equalização foram projetadas para tranquilização de uma vazão específica.

Como ações e recomendações, foi sugerido o monitoramento das atividades de todas as etapas da planta e alinhamento prévio com a central de inativação para se evitar desvios bruscos de vazão.

6.5.7. NÓ 7 – Caixa de Distribuição - CX-TQ-AER

Foram avaliados neste nó dois parâmetros: vazão e nível. Na Tabela 42 são apresentados os parâmetros analisados e as respectivas palavras-chaves utilizadas.

Tabela 42 – Desvios - Nó 7

Parâmetro	Palavra-chave	Desvio
Vazão (à montante)	Mais	Vazão acima do especificado no projeto na entrada da caixa de distribuição
	Menos	Vazão abaixo do especificado no projeto na entrada da caixa de distribuição
Vazão (à jusante)	Mais	Vazão acima do especificado no projeto na saída da caixa de distribuição
	Menos	Vazão abaixo do especificado no projeto na saída da caixa de distribuição
Nível	Mais	Nível acima do especificado no projeto na caixa a de distribuição

De acordo com os resultados do Gráfico 18 foi identificado o total de cinco desvios, dos quais quatro foram classificados como risco “moderado” e um como risco “baixo”. Vale ressaltar que quatro desvios estão associados aos parâmetros de “vazão”, pois foi considerado a “vazão” à montante do tanque de distribuição, que é constituído pela vazão de efluente e a vazão de recirculação de lodo e a “vazão” à jusante do tanque de distribuição. Para os dois casos as palavras guias de “mais” e “menos” foram utilizadas. O parâmetro de “nível” foi associado somente a palavra guia “mais”. A equipe multidisciplinar considerou que não seria necessário avaliar o desvio de “menos nível” e “sem nível”, pois de acordo com o histórico dos colaboradores da área esses desvios nunca ocorreram e são improváveis de ocorrer.

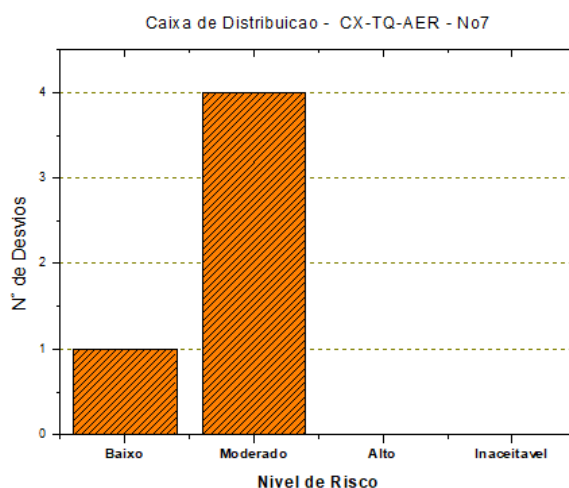


Gráfico 18- Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 7

A Tabela 43 mostra o compilado dos resultados obtidos durante a avaliação.

Tabela 43- Resultados da análise de risco Nó 7

Parâmetro	Palavra-chave	(O)		(S)		Risco	(D)	(P)	Critério Priorização
Vazão (à montante)	Mais	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	2	2,0	Baixo
	Menos	Raro	1	Nenhuma	1	Baixo	2	0,5	Baixo
Vazão (à jusante)	Mais	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	2	2,0	Baixo
	Menos	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	2	2,0	Baixo
Nível	Mais	Improvável	2	Média	3	Moderado	2	3,0	Baixo

Não houve nenhum instrumento a ser priorizado para qualificação neste nó, pois na envoltória estudada não existe nenhum instrumento de monitoramento e detecção. Sob o ponto de vista de priorização para o tratamento dos riscos, todos os desvios obtiveram critério de priorização “baixo”, sendo o maior a maior pontuação obtida de três para o desvio de “mais nível” no tanque de distribuição. Neste caso, este risco seria o primeiro a ser tratado neste nó. A segunda maior pontuação foi de dois para os desvios de “mais vazão” à montante e “mais vazão” à jusante, assim como o de “menos vazão” à jusante.

Em relação ao desvio de “mais nível” que obteve a maior pontuação, as principais causas relatadas para o evento em ordem da mais citadas foi o

aumento do volume de efluente a ser tratado, válvula manual HV-02 aberta que faz by-pass do tanque de equalização, aumento da vazão de recirculação de lodo acima do especificado, stop log fechado e obstrução das tubulações de saída. A severidade do risco foi classificada como “média”, pois como consequência foi citada o transbordamento do conteúdo do tanque de distribuição, que poderia ocasionar contaminação do solo. Como medidas de ação e recomendação foi sugerido o acompanhamento de todas as etapas da planta, alinhamento prévio com a central de inativação, treinamento periódico dos operadores no manuseio do stop log e manutenção e limpeza do stop log e manutenção.

6.5.8. NÓ 8 – Tanque de Aeração - TQ-AER-01 e TQ-AER-02

A envoltória deste nó incluiu os dois tanques de aeração, TQ-AER-01 e TQ-AER-02, objetivando facilitar a análise, visto que os equipamentos são semelhantes. Como resultado, foram avaliados nove parâmetros: nível, vazão à montante, temperatura, pH, concentração de lodo, concentração de oxigênio, concentração de nutrientes, idade de lodo e concentração de DBO. Na Tabela 44 são apresentados os parâmetros estudados e as respectivas palavras-chaves utilizadas.

Tabela 44 - Desvios - Nó 8

Parâmetro	Palavra-chave	Desvio
Nível	Menos	Nível abaixo do especificado no projeto no tanque de aeração
	Mais	Nível acima do especificado no projeto no tanque de aeração
Vazão (à montante)	Mais	Vazão acima do especificado no projeto na entrada no tanque de aeração
	Menos	Vazão abaixo do especificado no projeto na entrada no tanque de aeração
Temperatura	Mais	Temperatura mais alta do que o especificado no tanque de aeração

pH	Maior	pH acima do especificado no tanque de aeração
	Menor	pH abaixo do especificado no tanque de aeração
Concentração de Lodo	Menor	Concentração de lodo abaixo do especificado no tanque de aeração
	Mais	Concentração de lodo acima do especificado no tanque de aeração
Concentração de Oxigênio	Menor	Concentração de oxigênio abaixo do especificado no tanque de aeração
Concentração de Nutrientes (Fósforo e Nitrogênio)	Menor	Concentração abaixo do especificado no tanque de aeração
	Maior	Concentração acima do especificado no tanque de aeração
Idade de Lodo	Menor	Idade de lodo abaixo do especificado no tanque de aeração
Concentração de DBO	Maior	Concentração de DBO acima do especificado no tanque de aeração

No Gráfico 19 é mostrado o quantitativo de desvios de acordo com sua classificação de risco para o nó estudado. É importante destacar que os desvios se aplicam para os dois tanques de aeração TQ-AER-01 e TQ-AER-02.

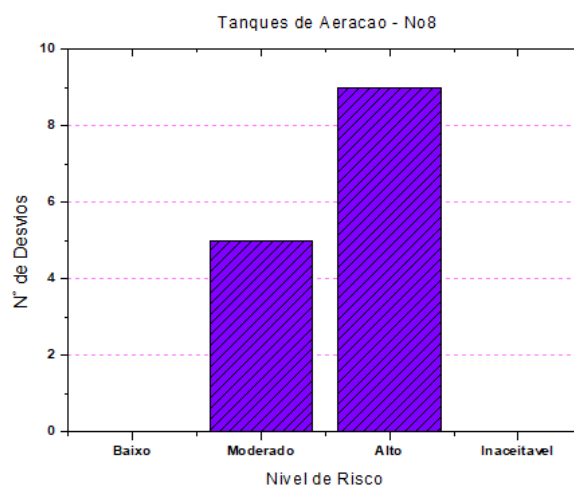


Gráfico 19 - Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 8

Na análise foram identificados catorze desvios, em que nove desvios foram classificados como “alto” e cinco classificados como “moderado”. O resultado com alto número de desvios classificados como alto é condizente com a funcionalidade da etapa analisada, visto que é considerada a principal etapa para o tratamento do efluente, já que é nela em que a matéria orgânica é degradada. Na Tabela 45 é apresentado o compilado dos resultados.

Tabela 45- Resultados da análise de risco N° 8

Parâmetro	Palavra-chave	(O)		(S)		Risco	(D)	(P)	Critério Priorização
Nível	Mais	Possível	3	Média	3	Alto	3	3,0	Baixo
	Menos	Possível	3	Baixa	2	Moderado	3	2,0	Baixo
Vazão (à montante)	Mais	Possível	3	Média	3	Alto	2	4,5	Baixo
	Menos	Possível	3	Baixa	2	Moderado	3	2,0	Baixo
Temperatura	Mais	Possível	3	Média	3	Alto	3	3,0	Baixo
pH	Maior	Improvável	2	Média	3	Moderado	2	3,0	Baixo
	Menor	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	2	2,0	Baixo
Concentração de Lodo	Menor	Possível	3	Alta	4	Alto	2	6,0	Médio
	Maior	Possível	3	Média	3	Alto	2	4,5	Baixo
Concentração de Oxigênio	Menor	Possível	3	Alta	4	Alto	3	4,0	Baixo
Concentração de Nutrientes	Menor	Possível	3	Alta	4	Alto	2	6,0	Médio
	Maior	Improvável	2	Média	3	Moderado	2	3,0	Baixo
Idade do Lodo	Menor	Possível	3	Alta	4	Alto	2	6,0	Médio
Concentração de DBO	Maior	Possível	3	Média	3	Alto	2	4,5	Baixo

Do ponto de vista da priorização da qualificação dos instrumentos,

analisando os desvios que foram classificados como nível de risco “alto”, destacam-se os desvios associados aos parâmetros de concentração de oxigênio, temperatura e nível. A probabilidade de ocorrência desses desvios foi classificada como “média”. O desvio de “menor concentração de oxigênio” obteve o maior nível de severidade, que foi classificado como “alta”. Isso se deve a importância destinada a este parâmetro, que é considerado um dos parâmetros mais importantes para o processo biológico, pois está relacionado ao fornecimento de oxigênio para a respiração dos microrganismos que formam a biomassa. A sua alta severidade, portanto, é justificada pela consequência que o desvio pode oferecer na eficiência na degradação da matéria orgânica, afetando no crescimento da biomassa. Além disso, de acordo com Metcalf & Eddy (2016) baixos níveis de oxigênio (< 0,5 mg/L) associados a baixa relação A/M, favorecem o crescimento de microrganismos filamentosos como *Sphaerotilus natans*, *Halsicomenobacter hydrossis*, *Microthrix parvicella*, que ocasionam a formação de lodo volumoso filamentoso de baixa sedimentação que pode dificultar a sedimentação do lodo nas próximas etapas e desencadear impacto no meio ambiente, caso o efluente seja descartado sem adequada sedimentação. O nível de detecção foi classificado como “moderado”, devido a presença dos sensores de oxigênio AT-02-OD-03, para o TQ-AER-02, e AT-02-OD-02 para o tanque de aeração TQ-AER-01, fazendo com que o critério de priorização seja baixo. Dessa maneira, os primeiros instrumentos a serem qualificados nessa etapa seriam os sensores AT-02-OD-03 e AT-02-OD-02, pois são responsáveis pela detecção de um desvio com nível de risco “alto” e com “alta” severidade. A equipe multidisciplinar identificou as principais causas para desencadear este desvio, que foram o alto crescimento microbiológico associado a alta carga orgânica, falha nos sopradores de ar, falha dos sensores de oxigênios, falha no acionamento dos sopradores, falha das válvulas solenoides SOV-05 e SOV-06 e falha na execução de procedimentos para o fechamento do *stop log*. A ausência de condições aeróbicas é considerada no trabalho de FRATTAROLA *et.al.* (2018) também como risco elevado. De acordo com o autor, além da importância associada à função da etapa, a classificação se deu justamente pela ausência de medidas de controle e monitoramento. Para o desvio em questão, como recomendações, foram sugeridas a verificação da validade de calibração dos instrumentos de detecção, manutenção periódica dos

sopradores e membranas difusoras, elaboração de treinamentos nos procedimentos operacionais, *by-pass* para o outro tanque de aeração e instalação de um sensor de oxigênio redundante. Vale destacar que o controle de oxigênio da planta é constituído por dois sopradores que trabalham de forma intermitente. Quando a concentração supera 5,0 mg/L, o soprador é desligado automaticamente, mas o mesmo soprador somente é ligado novamente de forma manual e no intervalo de 30 minutos. Em função disso há outro soprador, que também é ligado pelo operador de forma manual. Foi sugerido que este controle fosse feito de forma automática, sem a necessidade do acionamento pelo operador, instalando um inversor de frequência para o soprador trabalhar de acordo com a demanda de oxigênio necessária, sem a necessidade de desligá-lo.

O desvio de “mais nível”, com severidade classificada como “média”, teve seu critério de priorização de risco “baixo” por conta da presença do sensor de nível de alta LSH-05 para o tanque TQ-AER-02 e o LSH-04 para o tanque TQ-AER-01. Portanto, os segundos instrumentos a serem qualificados nesta etapa seriam os sensores de nível LSH-05 e LSH-04, baseado em risco de processo. Em relação a este desvio, as principais causas identificadas pela equipe foram a possibilidade de obstrução da tubulação de saída do tanque, aumento do volume do efluente a ser tratado, falha nos sensores de nível de alta (LSH-05 e LSH-04), formação de espuma, vazão bombeada das etapas anteriores fora do especificado e aumento da vazão de recirculação de lodo. Em termo das consequências que justificaram a classificação da severidade do desvio para o processo, foram citadas a possibilidade de transbordamento do tanque de aeração, aumento do tempo de residência do tanque e impacto negativo no tratamento, caso a principal causa seja o aumento do volume de efluente a ser tratado. Adicionalmente, a equipe citou danos ao meio ambiente por conta da possibilidade de transbordamento do tanque, além de oferecer risco aos colaboradores. As ações e recomendações sugeridas foram a possibilidade de realização de *by-pass* para outro tanque e verificação da validade de calibração dos sensores LSH-05 e LSH-04.

Ainda sob o ponto de vista de priorização da qualificação dos instrumentos, os próximos instrumentos a serem qualificados nesta etapa seriam

os sensores de temperatura AT-02-TT-02 para o tanque TQ-AER-01 e AT-02-TT-03 para o tanque TQ-AER-02. Esses sensores foram citados como instrumentos de monitoramento para o desvio de “mais temperatura”, que foi classificado com nível de risco “alto”. Por conta disso, o nível de detecção foi classificado como “moderado” e fez com que o critério de priorização de risco fosse “baixo”. As causas identificadas para este desvio foram a falha dos sensores de temperatura AT-02-TT-02 e AT-02-TT-03 e a falha na etapa de equalização. As consequências identificadas foi a possibilidade de baixa formação de lodo por conta dos impactos do aumento da temperatura no crescimento microbológico e possibilidade de aumento da respiração endógena, que acarretaria o autoconsumo de oxigênio. Os últimos instrumentos a serem qualificados nesta etapa são o sensor de baixa LSL-04 e LSL-05.

Sob o ponto de vista dos resultados da análise de risco, a maior pontuação foi 6 para aqueles riscos que devem ser evitados e tratados primeiramente. Esse resultado foi obtido para três desvios: “menor concentração de lodo”, “menor idade do lodo” e “menor concentração de nutrientes”. Os três desvios tiveram as mesmas classificações de probabilidade de ocorrência e severidade, assim como o nível de detecção, que foram todas classificadas como “remota”. Em relação ao desvio de “menor concentração de lodo”, as principais causas identificadas para ocorrência do desvio foram a obstrução da tubulação de entrada da recirculação de lodo, a falha da válvula solenoide SOV-01 que permite o fluxo do lodo para o tanque de aeração, falha na elevatória de lodo, vazão configurada de recirculação abaixo do especificado, baixa concentração de oxigênio, idade baixa do lodo e baixa carga do efluente. Como consequência, o processo teria impactos na eficiência de degradação da matéria orgânica e ineficiência de sedimentação na etapa posterior. Além disso, a equipe multidisciplinar citou que a ineficiência na degradação pode acarretar a contaminação do corpo receptor caso o efluente seja descartado. Em termos de detecção, a detecção foi considerada remota, pois somente é detectado por testes analíticos realizados em laboratório. As recomendações e ações sugeridas foram a manutenção periódica das tubulações para evitar obstruções, treinamentos periódicos nos procedimentos, testes analíticos e manutenção periódica dos equipamentos e válvulas.

Outro desvio com pontuação igual a 6 foi o desvio de “menor concentração de nutrientes”. As principais causas relatadas pela equipe foram a possibilidade de alteração da característica do efluente, falha na etapa de equalização onde é realizado o ajuste de nutrientes e falha na execução do procedimento. Como consequências para o processo, se tem a ineficiência na degradação da matéria orgânica, a baixa formação de biomassa e a formação de lodo volumoso de baixa sedimentação por conta da formação de microrganismos filamentosos como *Thiothrix II*, *Thiothrix I*, *Nostocoida limicola II* e Tipo 021N, que conseqüentemente impacta na eficiência de sedimentação no sedimentador (RICHARD, 1997). Como recomendações, sugeriu-se a realização dos testes analíticos na própria área, pois os testes realizados atualmente são realizados por empresa terceirizada. Adicionalmente, fez-se a recomendação para que as análises sejam feitas antes da entrada do efluente dos tanques de aeração e treinamento dos operadores nos testes analíticos caso sejam implementados na área. O terceiro desvio com pontuação 6 foi o desvio de “menor idade do lodo”, em que as principais causas identificadas foram o alto descarte do lodo excedente e baixa vazão configurada na recirculação de lodo. Percebe-se que todas as causas são associadas a falha de execução do procedimento. As consequências identificadas para o processo foram a ineficiência na degradação da matéria orgânica e ineficiência na sedimentação. O nível de detecção foi considerado como “remoto” porque a detecção somente é realizada através de cálculo e teste analítico. Como recomendações, sugeriu-se treinamentos periódicos nos procedimentos operacionais para evitar erros na execução das atividades e treinamentos nos testes analíticos realizados na área.

Foram identificados outros desvios classificados como risco alto” e que tiveram a pontuação de 4,5 para serem tratados após os riscos classificados com pontuação 6. Destaca-se o desvio de “mais vazão” e o desvio de “maior concentração de DBO” a montante dos tanques de aeração, que aumenta a relação A/M e conseqüentemente a carga de entrada. A equipe também destacou como consequência o carreamento de lodo para os tanques de sedimentação caso a vazão fosse muito alta, além da possibilidade de transbordamento do tanque e diminuição do tempo de residência. Em termos do aumento da concentração de DBO, haveria aumento da demanda de oxigênio.

Sugeriu-se a instalação de um medidor de vazão na entrada do tanque, visto que a vazão de entrada é somada com a vazão do efluente e a vazão de recirculação de lodo. Outro desvio com pontuação 4,5 foi o desvio de “maior concentração de lodo”, que poderia ser causado principalmente pela vazão configurada de recirculação de lodo de forma equívoca e falha de procedimento para o acionamento do *stop log*. Esta condição, segundo os especialistas, diminuiria a relação A/M e aumentaria a demanda de oxigênio, que associado ao aumento do tempo de residência dos sólidos no tanque, pode favorecer a formação de microrganismos filamentosos, acarretando a formação de lodo de baixa sedimentação. Além disso, o efluente caso descartado no corpo receptor pode gerar o assoreamento, gerando dessa forma impacto negativo ao meio ambiente. Como as principais causas identificadas foram associadas a erro de procedimento, as ações e recomendações foram a atualização e treinamentos periódicos nos procedimentos operacionais da planta.

6.5.9. NÓ 9 – Sopradores - SOP-01 e SOP-02

O nó 9 engloba os dois sopradores SOP-01 e SOP-02 de módulos rotativos, do modelo Delta Blower Geração 5 da Aerzen que é composto por filtro, resfriador, válvula de retenção e circuito de óleo completo. Os sopradores ficam alocados em uma sala arejada com outros equipamentos. De acordo com os especialistas, foi necessário avaliar apenas dois parâmetros: pressão a jusante dos sopradores e vazão a jusante). Os desvios são mostrados na Tabela 46.

Tabela 46 - Desvios - Nó 9

Parâmetro	Palavra-chave	Desvio
Pressão (à jusante)	Mais	Aumento de pressão de ar à jusante dos sopradores SOP-01 e SOP-02
	Menos	Menos pressão de ar à jusante dos sopradores SOP-01 e SOP-02
	Sem	Sem pressão de ar à jusante dos sopradores SOP-01 e SOP-02
Vazão (à jusante)	Mais	Vazão de ar acima do especificado à jusante dos sopradores SOP-01 e SOP-02

	Menos	Vazão de ar abaixo do especificado à jusante dos sopradores SOP-01 e SOP-02
	Não	Sem vazão de ar à jusante dos sopradores SOP-01 e SOP-02

O Gráfico 20 mostra o quantitativo de desvios identificados no nó 9.

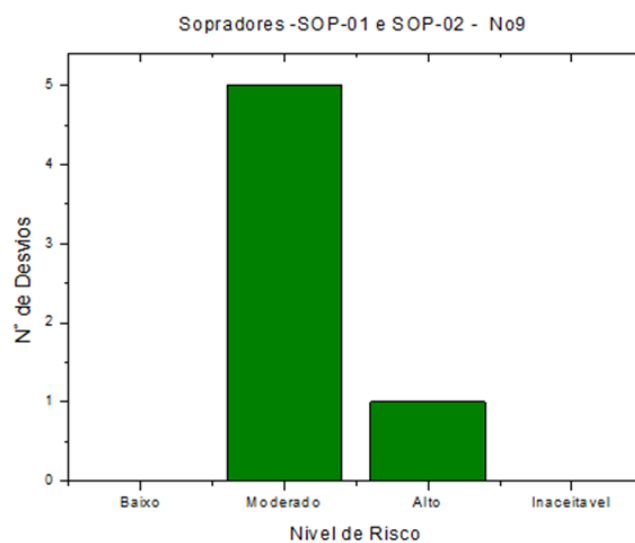


Gráfico 20- Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 9

Considerando os parâmetros avaliados, foram identificados seis desvios, dois quais cinco foram classificados como risco “moderado” e um como risco “alto”. A Tabela 47 mostra o resumo da avaliação para cada desvio do nó em questão.

Tabela 47- Resultados da análise de risco N° 9

Parâmetro	Palavra-chave	(O)		(S)		Risco	(D)	(P)	Critério Priorização
Pressão	Mais	Possível	3	Média	3	Alto	3	3,0	Baixo
	Menos	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	3	1,33	Baixo
	Sem	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	3	1,33	Baixo
Vazão (à jusante)	Mais	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	3	1,33	Baixo
	Menos	Possível	3	Baixa	2	Moderado	3	2,0	Baixo
	Não	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	3	1,33	Baixo

De acordo com a Tabela 47, o risco classificado como “alto” foi o risco associado ao aumento de pressão à jusante dos sopradores SOP-01 e SOP-02. Por conta disso, o evento em questão obteve a maior pontuação, que foi de 3. A justificativa para esta classificação foram as consequências associadas ao evento e as principais causas relatadas pela equipe multidisciplinar. As principais consequências identificadas foram consequências estruturais como a danificação das válvulas manuais HV-07 e HV-08 e válvulas solenoides SOV-05 e SOV-06 para os sopradores SOP-01 e SOP-01, respectivamente, além da possibilidade de rompimento da tubulação. Do ponto de vista das consequências para o processo, a equipe multidisciplinar ressaltou que o aumento da pressão de ar impacta no aumento da concentração de oxigênio nos tanques de aeração (TQ-AER-01 E TQ-AER-02). Portanto, a classificação da severidade foi “média”. Em termos de elementos de controle e monitoramento, os manômetros de pressão PI-01 para o SOP-01 e PI-02 para o SOP-02 foram citados como elementos de detecção do evento estudado, sendo o nível de detecção classificada como “moderada”. As causas relatadas do evento que acarretaram a classificação de ocorrência como “possível” foram principalmente a possibilidade de falha das válvulas solenoides SOV-05 para o SOP-01 e SOV-07 para o SOP-02 e falha de execução de procedimento. Em relação a falha de procedimento, foi citado o fechamento das válvulas manuais HV-07 e HV-08, que devem estar abertas, e a configuração da pressão de trabalho dos sopradores.

Marhavidas (2020) em seu trabalho chama a atenção de falha de válvulas solenoides que desencadeiam desvios de aumento de pressão em linha, assim como falha nos indicadores de pressão. As ações e recomendações sugeridas para este desvio foi a instalação de instrumento de detecção compartilhado com a sala de controle e verificação da calibração dos manômetros. Desse modo, os instrumentos a serem priorizados para qualificação neste nó seriam os manômetros de pressão PI-01 e PI-0-02.

Em termos de priorização dos riscos, todos obtiveram critério de priorização baixo. Como dito anteriormente, a maior pontuação foi de 3,0 associado ao aumento de pressão a jusante dos sopradores, sendo o primeiro a ser tratado. A segunda maior pontuação foi de 2,0, associado ao desvio de “menos vazão” à jusante dos sopradores SOP-01 e SOP-02. De acordo com a equipe multidisciplinar, o evento teve sua classificação de ocorrência como “possível” pois as principais causas identificadas foram erro de execução de procedimento e falha nos sopradores. As principais causas em termos de importância foram a falha nos sopradores, sendo incluso neste caso obstrução dos filtros, válvulas manuais HV-07 e HV-08 fechadas parcialmente, falha nas válvulas solenoides SOV-05 e SOV-06 e por último obstrução parcial das tubulações e vazamentos nas tubulações. Em termos das consequências identificadas a principal foi a de vazão insuficiente para a demanda de oxigênio necessária para o tanque de aeração. As recomendações e ações sugeridas para o tratamento do risco foi primeiramente a manutenção periódica dos sopradores, instalação de um inversor de frequência, verificação da calibração dos sensores PI-01 e PI-02 e elaboração de treinamentos periódicos dos colaboradores.

6.5.10. NÓ 10 – Caixa de Distribuição – CX-TQ-DEC

O nó 10 está associado a caixa de distribuição que recebe o efluente tratado dos tanques de aeração para distribuição para os decantadores secundários. Assim como os outros nós associados a caixa de distribuição, os parâmetros avaliados nesse nó foi vazão (à montante e à jusante) e nível. A Tabela 48 mostra os parâmetros analisados, assim como as palavras-chave utilizadas para cada parâmetro.

Tabela 48 - Desvios - Nó 10

Parâmetro	Palavra-chave	Desvio
Vazão (à montante)	Mais	Vazão acima do especificado à montante da caixa de distribuição CX-TQ-DEC
	Menos	Vazão abaixo do especificado à montante da caixa de distribuição CX-TQ-DEC
Vazão (à jusante)	Mais	Vazão acima do especificado à jusante da caixa de distribuição CX-TQ-DEC
	Menos	Vazão abaixo do especificado à jusante da caixa de distribuição CX-TQ-DEC
Nível	Mais	Nível acima do especificado na caixa de distribuição CX-TQ-DEC

O Gráfico 21 mostra o quantitativo dos desvios para o nó 10 identificados.

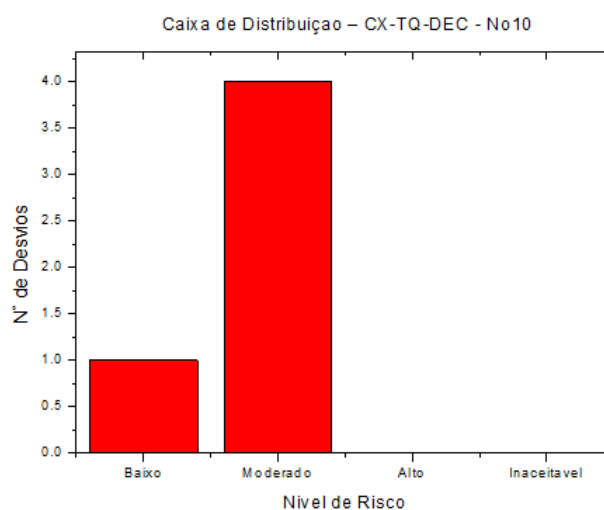


Gráfico 21 - Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 10

De acordo com os parâmetros analisados, foram identificados cinco desvios, dos quais quatro foram considerados “moderados” e um considerado “baixo”.

Tabela 49 - Resultados da análise de risco Nó 10

Parâmetro	Palavra-chave	(O)		(S)		Risco	(D)	(P)	Critério Priorização
Vazão (à montante)	Mais	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	2	2,0	Baixo
	Menos	Raro	1	Nenhuma	1	Baixo	2	0,5	Baixo
Vazão (à jusante)	Mais	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	2	2,0	Baixo
	Menos	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	2	2,0	Baixo
Nível	Mais	Improvável	2	Média	3	Moderado	2	3,0	Baixo

Assim como o nó 7, não houve nenhum instrumento a ser priorizado para qualificação neste nó, pois na envoltória estudada não existe nenhum instrumento de monitoramento e detecção.

De forma semelhante ao nó 7, em relação a priorização para o tratamento dos riscos no nó 10 todos os desvios obtiveram critério de priorização “baixo”, sendo a maior pontuação obtida de 3 para o desvio de “mais nível” na caixa de distribuição, conforme Tabela 49 . Neste caso, este risco seria o primeiro a ser tratado neste nó, do ponto de vista do ranqueamento. A segunda maior pontuação foi de 2,0 para os desvios de “mais vazão” à montante e “mais vazão” à jusante, assim como o de “menos vazão” à jusante.

Em relação ao desvio de “mais nível” que obteve a maior pontuação, a principal causa relatada para o evento foi o aumento do volume de efluente a ser tratado e falha na execução do procedimento operacional em relação a operação dos stop-logs ZSO-03 e ZSO-04, já que o erro no fechamento dos stop-logs pode ocasionar o aumento do volume na caixa de distribuição. A severidade do risco foi classificada como “baixa” e o nível de detecção como “remoto”, pois não há elementos de detecção e monitoramento. Como medidas de ação e recomendação foi sugerido o acompanhamento de todas as etapas da planta assim como o alinhamento prévio com as áreas produtivas, treinamento periódico dos operadores no manuseio do *stop log* e manutenção e limpeza do *stop log* e tubulações.

Já os riscos com pontuação de 2, foi sugerido manutenção periódica das tubulações e stop-log ZSO-03 e ZSO-04 além dos treinamentos periódicos dos operadores, visto que a falha na execução do procedimento operacional foi a causa principal citada para os desvios de “mais vazão” e “menos vazão” a jusante da caixa de distribuição CX-TQ-DEC. A falha operacional em questão foi a falha no manuseio do stop-log ZSO-03 e ZSO-04, que no caso do desvio de “menos vazão” a jusante pode estar fechada quando deveria estar aberto e no caso do desvio de “mais vazão” o stop log pode estar aberto quando deveria estar fechado.

6.5.11. NÓ 11 – Tanques de Decantação - TQ-DEC-01 e TQ-DEC-02

Na Tabela 50 são apresentados os parâmetros e seus respectivos desvios de acordo com a palavra guia utilizada. No total, foram avaliados quatro parâmetros.

Tabela 50 - Desvios - NÓ 11

Parâmetro	Palavra-chave	Desvio
Vazão (à montante)	Mais	Vazão acima do especificado à montante dos decantadores circulares TQ-DEC-01 e TQ-DEC-02
	Menos	Vazão abaixo do especificado à montante dos decantadores circulares TQ-DEC-01 e TQ-DEC-02
Rotação da pista articulada	Mais	Rotação da ponte articulada acima do especificado nos decantadores circulares TQ-DEC-01 e TQ-DEC-02
	Menos	Rotação da ponte articulada abaixo do especificado nos decantadores circulares TQ-DEC-01 e TQ-DEC-02
	Não	Sem rotação da ponte nos decantadores circulares TQ-DEC-01 e TQ-DEC-02
Nível	Mais	Nível acima do especificado nos decantadores circulares TQ-DEC-01 e TQ-DEC-02

	Menos	Nível abaixo do especificado nos decantadores circulares TQ-DEC-01 e TQ-DEC-02
Turbidez do clarificado	Mais	Turbidez elevada do clarificado nos decantadores circulares TQ-DEC-01 e TQ-DEC-02

Como resultado foram identificados oito desvios, dos quais cinco foram classificados como risco “moderado” e “três” como risco “alto”, conforme distribuição do Gráfico 22.

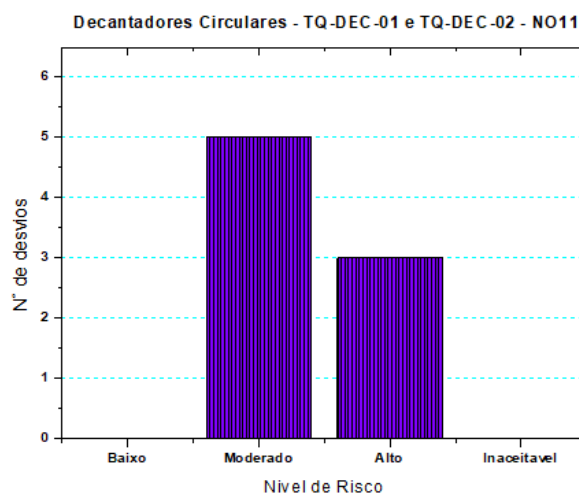


Gráfico 22- Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 11

A Tabela 51 a seguir mostra o compilado dos resultados obtidos para o nó 11, que constitui tanto o decantador circular TQ-DEC-01 quanto o decantador circular TQ-DEC-02.

Tabela 51 - Resultados da análise de risco Nó 11

Parâmetro	Palavra-chave	(O)		(S)		Risco	(D)	(P)	Critério Priorização
<i>Vazão (à montante)</i>	<i>Mais</i>	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	2	2,0	Baixo
	<i>Menos</i>	Possível	3	Baixa	2	Moderado	2	3,0	Baixo
<i>Rotação da ponte articulada</i>	<i>Mais</i>	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	2	2,0	Baixo
	<i>Menos</i>	Possível	3	Baixa	2	Moderado	2	3,0	Baixo
	<i>Não</i>	Possível	3	Média	3	Alto	2	4,5	Baixo
<i>Nível</i>	<i>Mais</i>	Possível	3	Média	3	Alto	2	4,5	Baixo
	<i>Menos</i>	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	2	2,0	Baixo
<i>Turbidez do clarificado</i>	<i>Mais</i>	Possível	3	Alta	4	Alto	2	6,0	Médio

No nó de estudo em questão há somente os instrumentos SIC-RDS-02 e SIC-RDS-01 de indicação e controle de velocidade da ponte articulada. Desse modo, em termos de priorização para a qualificação dos instrumentos para o nó 11, tem-se somente os SIC-RDS-02 e SIC-RDS-01 que são os indicadores e controladores de rotação da ponte articulada.

Sob o ponto de vista da análise dos riscos identificados, o risco com maior pontuação para tratamento foi o risco de mais turbidez do clarificado, classificado como risco “alto”. O risco obteve a pontuação de 6 e foi classificado como o primeiro a ser priorizado para ser evitado. As principais causas relatadas pela equipe foram o aumento da vazão de entrada nos decantadores, falha na ponte articulada e formação de lodo filamentosos. Este último, pode ser causado por problemas no tanque de aeração conforme citado no item 6.5.8. O risco foi classificado como “possível” de ocorrer e severidade classificada como “alta”. A classificação da severidade está atrelada às consequências do efluente ficar fora das condições adequadas para o descarte, abrindo margem para muitas ambientais e impactos negativos ao meio ambiente, como a possibilidade de assoreamento do corpo receptor, em caso de carreamento de lodo no clarificado.

Como ações e recomendações associadas às causas identificadas, sugeriu-se o alinhamento com a central de inativação para evitar desvios na vazão e manutenção periódica da ponte articulada, assim como treinamento dos operadores para visualizar alterações na turbidez nos decantadores.

Os outros dois riscos classificados como “alto” foram os riscos de “mais nível” e “sem rotação da ponte articulada” nos decantados, que obtiveram pontuação 4,5 em termos de priorização para o tratamento dos riscos. As causas identificadas para o risco de “mais nível” nos decantadores foram a obstrução das tubulações de saída, aumento do volume de efluente a ser tratado, acúmulo de lodo no fundo do decantador por conta de raspagem ineficiente e formação de espuma. Como consequência, foram citadas o carreamento de lodo para o vertedor e impacto ambiental do efluente descartado com lodo carreado. Para evitar o desvio, foram sugeridas alinhamento com as áreas produtivas para evitar desvios no aumento de efluente a ser tratado e manutenção e limpeza das tubulações e ponte articulada.

Enquanto o risco de “sem rotação da ponte articulada” teve como principais causas identificadas a falha no motor da ponte e falha no inversor de frequência. Sua probabilidade de ocorrência foi classificada como “possível” e sua severidade “média”, e o nível de detecção “remoto”. Sob o ponto de vista das consequências, a falta de rotação da ponte articulada geraria acúmulo de lodo no fundo dos decantadores e aumento do nível, assim como possibilidade de descarte do efluente fora das especificações com o carreamento de lodo. Como ações e recomendações foram sugeridas a manutenção periódica do motor da ponte articulada e verificação da validade de calibração do SIC-RDS-02 e SIC-RDS-01, assim como o inversor de frequência. Também foi sugerido o treinamento para a rotina dos operadores em verificar a velocidade de rotação da ponte articulada.

6.5.12. NÓ 12 - Calha Parshal 03

Na Tabela 52 são apresentados os parâmetros e seus respectivos desvios de acordo com a palavra guia utilizada para o nó 12 referente à Calha Parshal 03 de drenagem de clarificado. No total, foram avaliados quatro parâmetros: vazão, nível, turbidez e pH.

Tabela 52 - Desvios - Nó 12

Parâmetro	Palavra-chave	Desvio
Vazão (à montante)	Mais	Vazão acima do especificado à montante da Calha Parshal 03
	Menos	Vazão abaixo do especificado à montante da Calha Parshal 03
	Não	Sem vazão à montante da Calha Parshal 03
Nível	Mais	Nível acima do especificado na Calha Parshal 03 de drenagem de clarificado
	Menos	Nível abaixo do especificado na Calha Parshal 03 de drenagem de clarificado
	Não	Sem nível de clarificado na Calha Parshal 03 de drenagem de clarificado
pH	Menor	Valor do pH do clarificado abaixo do especificado
	Maior	Valor do pH do clarificado acima do especificado
Turbidez do clarificado	Mais	Turbidez elevada do clarificado na Calha Parshal 03

Dos nove desvios identificados, cinco foram classificados como risco “baixo”, um como risco “moderado” e três como risco “alto”, conforme Gráfico 23.

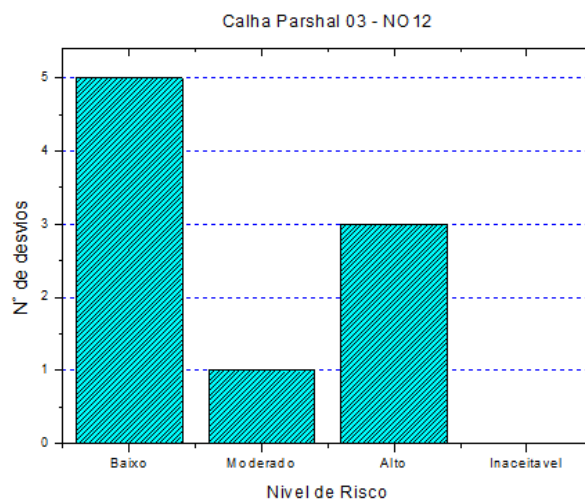


Gráfico 23- Distribuição de desvios por nível de risco - N° 12

Os riscos classificados como “alto” justificam-se pela funcionalidade principal da etapa, que é a drenagem do efluente tratado proveniente dos decantadores secundários, que deve estar com o pH ajustado e clarificado. Sendo assim, os riscos classificados como “alto” foram associados aos parâmetros de pH e turbidez, conforme Tabela 53.

Tabela 53- Resultados da análise de risco N° 12

Parâmetro	Palavra-chave	(O)		(S)		Risco	(D)	(P)	Critério Priorização
Vazão (à montante)	Mais	Possível	3	Baixa	2	Moderado	4	1,5	Baixo
	Menos	Possível	3	Nenhuma	1	Baixo	4	0,75	Baixo
	Não	Raro	1	Nenhuma	1	Baixo	4	0,25	Baixo
Nível	Mais	Improvável	2	Nenhuma	1	Baixo	2	1,0	Baixo
	Menos	Possível	3	Nenhuma	1	Baixo	2	1,5	Baixo
	Não	Raro	1	Nenhuma	1	Baixo	2	0,5	Baixo
Turbidez do clarificado	Mais	Possível	3	Alta	4	Alto	2	6,0	Médio
pH	Maior	Improvável	2	Alta	4	Alto	4	2,0	Baixo
	Menor	Improvável	2	Alta	4	Alto	4	2,0	Baixo

Neste nó em específico o primeiro instrumento a ser priorizado para qualificação deve ser o sensor de pH AT-04-PH-04, pois o sensor é o elemento de detecção e monitoramento dos desvios de “maior pH” e “menor pH” que foram classificados como risco “alto”. O sensor permitiu que o nível de detecção fosse considerado como elevado, recebendo o índice de 4, o que permitiu que o critério de priorização de risco fosse “baixo” para um risco classificado como “alto”. Deve-se salientar que apesar de classificados como risco “alto”, o nível de ocorrência para cada desvio associado ao parâmetro de pH foi classificado como “improvável”, pois o pH é ajustado na etapa de equalização. Além de ser o primeiro instrumento a ser priorizado para qualificação, foi sugerido a calibração e verificação periódica da calibração do sensor.

Seguindo o mesmo racional, o segundo elemento a ser priorizado para qualificação nesta etapa é o medidor de vazão FT-05. O medidor é o elemento responsável pela detecção e monitoramento do risco classificado como “moderado” associado ao desvio de “mais vazão” à montante da Calha Parshal 03, que foi classificado como nível de detecção “elevado”.

Já sob o ponto de vista de tratamento dos riscos, o risco que obteve a maior pontuação foi o risco associado a “mais turbidez” do clarificado. A principal causa identificada foi a de falha na etapa de decantação que foi analisada no nó 11. Foi sugerido a instalação de um medidor de turbidez na Calha Parshal 03.

6.5.13. NÓ 13 – Elevatória de Escuma – TQ-ELV-ESC

Na Tabela 54 são apresentados os parâmetros e seus respectivos desvios de acordo com a palavra guia utilizada para o nó 13 referente a elevatória de escuma. No total, foram avaliados três parâmetros: vazão, nível e pressão.

Tabela 54 - Desvios - Nó 13

Parâmetro	Palavra-chave	Desvio
Vazão (à jusante)	Mais	Vazão acima do especificado à jusante da bomba BEE-10
	Menos	Vazão abaixo do especificado à jusante da bomba BEE-10
	Não	Sem vazão à jusante da bomba BEE-1003
Nível	Mais	Nível de espuma acima do especificado na elevatória TQ-ELV-ESC
Pressão	Mais	Pressão alta após bomba BEE-10

Para os três parâmetros avaliados, foram identificados cinco desvios dos quais quatro foram classificados como risco “moderado” e um como risco “baixo” de acordo com o Gráfico 24. O compilado dos resultados da análise de risco para todos os desvios é apresentado na Tabela 55.

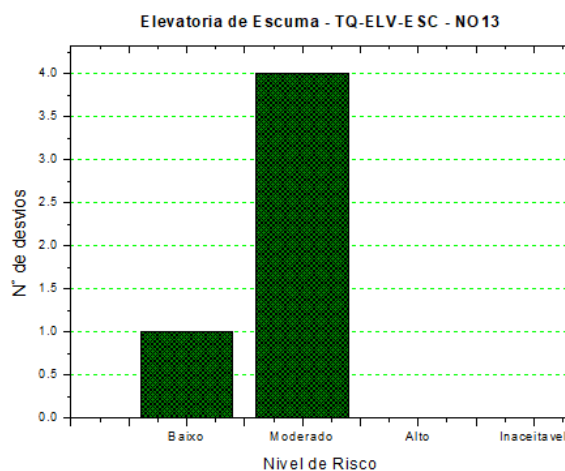


Gráfico 24 - Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 13

Tabela 55 - Resultados da análise de risco N.º 13

Parâmetro	Palavra-chave	(O)		(S)		Risco	(D)	(P)	Critério Priorização
<i>Vazão (à jusante)</i>	<i>Mais</i>	Raro	1	Nenhuma	1	Baixo	2	0,5	Baixo
	<i>Menos</i>	Possível	3	Baixo	2	Moderado	2	3,0	Baixo
	<i>Não</i>	Improvável	2	Baixo	2	Baixo	2	2,0	Baixo
<i>Nível</i>	<i>Mais</i>	Possível	3	Baixo	2	Moderado	3	2,0	Baixo
<i>Pressão</i>	<i>Mais</i>	Improvável	2	Baixo	2	Moderado	2	2,0	Baixo

É importante destacar que em termos de instrumentos, a envoltória do nó em questão possui apenas dois sensores, o sensor de nível de alta LSH-10 e o de baixa LSL-10. Para o nó em questão, o primeiro instrumento a ser priorizado para qualificação é o sensor de nível de alta LSH-10 e o segundo o sensor de nível de baixa LSL-10. A priorização da qualificação do sensor de nível de alta LSH-10 é justificada pela deteção do desvio de “mais nível” na elevatória de espuma classificado como risco “moderado”. Por conta disso, o nível de detectabilidade foi classificado como “moderado”, obtendo a pontuação de 2,0 para o critério de priorização sob o ponto de vista do tratamento dos riscos. Como a envoltória analisada possui somente dois instrumentos de deteção, o segundo instrumento a ser priorizado neste caso é o sensor de nível de baixa LSL-10.

Em relação ao tratamento dos riscos identificados, os riscos com maiores pontuações para serem tratados foram os riscos associados aos desvios de “menos vazão” à jusante da bomba BEE-01 com pontuação 3 e o desvio de “mais pressão” à jusante da bomba BEE-01 com pontuação 2. Ambos foram considerados riscos “moderados”. Para o tratamento do risco de “menos vazão”, que pode desencadear o acúmulo de espuma na elevatória, foi recomendado principalmente a instalação de uma bomba reserva e manutenção periódica dos equipamentos. Em relação ao desvio de “mais pressão” à jusante da bomba, recomendou-se principalmente treinamentos periódicos dos operadores, pois a causa principal identificada para a ocorrência do desvio foi falha na execução do procedimento com o fechamento da válvula HV-XX durante a operação.

Adicionalmente, foi sugerido a limpeza periódica da elevatória de espuma.

6.5.14. NÓ 14 – Elevatória de Lodo - TQ-ELV-LD-01

Para o nó em questão os desvios analisados foram associados a dois parâmetros: vazão e pressão. Diferente das outras elevatórias que foram estudadas, esta, em específico, opera em sistema fechado e o lodo é recebido a montante das bombas BEL-01 e BEL-02 do fundo dos tanques de decantação, por conta disso não foi analisado o parâmetro de nível. Na Tabela 56 são apresentados os parâmetros e os desvios analisados.

Tabela 56 - Desvios - Nó 14

Parâmetro	Palavra-chave	Desvio
Vazão (à jusante)	Mais	Vazão acima do especificado à jusante das bombas BEL-01 ou BEL-02
	Menos	Vazão abaixo do especificado à jusante das bombas BEL-01 e/ou BEL-02
	Não	Sem vazão à jusante das bombas BEL-01 e/ou BEL-02
Pressão	Mais	Pressão acima do especificado após bombas BEL-01 e/ou BEL-02

No nó 14 foram identificados quatro desvios, sendo dois classificados como risco “moderado” e dois como risco “alto”, conforme Gráfico 25. Em termos de elementos de detecção, monitoramento e controle, na envoltória estudada há somente a presença do indicador de vazão FT-04. Sendo assim, no nó em questão não houve a necessidade de um ranqueamento para a priorização de qualificação de instrumentos, visto que nesta etapa o único elemento a ser qualificado é o sensor de vazão FT-04.

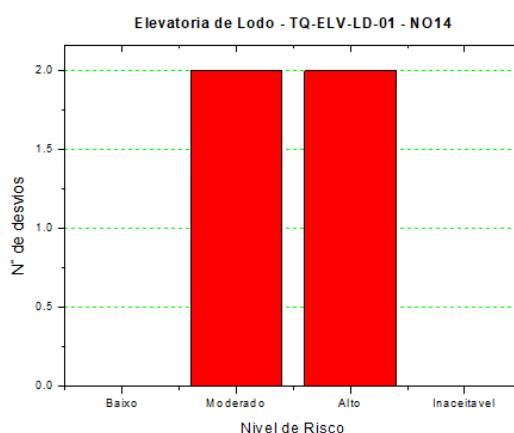


Gráfico 25 - Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 14

De acordo com os resultados mostrados na Tabela 57, vale ressaltar a importância do medidor de vazão FT-04, pois ele identifica os desvios de “mais vazão” e “menos vazão” que impactam na alteração da vazão de recirculação de lodo para o tanque de aeração que foram classificados como risco “alto”, mas com nível de detecção classificada como “elevada” por conta da presença do próprio medidor de vazão FT-04.

Tabela 57 - Resultados da análise de risco Nó 14

Parâmetro	Palavra-chave	(O)		(S)		Risco	(D)	(P)	Critério Priorização
Vazão (à jusante)	Mais	Possível	3	Alta	4	Alto	4	3,0	Baixo
	Menos	Possível	3	Alta	4	Alto	4	3,0	Baixo
	Não	Raro	1	Alta	4	Moderado	4	1,0	Baixo
Pressão	Mais	Improvável	2	Baixo	2	Moderado	21	4,0	Baixo

Do ponto de vista dos resultados da análise de risco, conforme comentado anteriormente, os riscos classificados como “alto” são associados ao parâmetro de vazão que tem seu critério de priorização para tratamento dos riscos como “baixo” devido a presença do medidor de vazão FT-04, sendo feita a sugestão de verificação da validade de calibração dos instrumentos e manutenção periódica dos equipamentos e treinamentos periódicos dos operadores. Estas últimas recomendações foram feitas pois foram sinalizados como possíveis

causas a falha no inversor de frequência das bombas BEL-01 e BEL-02 e falha na execução de procedimento com o fechamento das válvulas manuais HV-14 e HV-15 à jusante das bombas BEL-01 e BEL-02, respectivamente. O risco que obteve a maior pontuação foi o risco classificado como “moderado” associado ao desvio “mais pressão” à jusante das bombas BEL-01 e BEL-02, que obteve pontuação de 4 que se justifica pela ausência de elementos de detecção e monitoramento do desvio. Resultados do trabalho de Erdem (2022) em uma ETE mostra que bombas, de um modo geral, apresentam grande relevância na distribuição dos riscos identificados na planta, representando influência em 20% dos riscos. Dessa forma, sugeriu-se a instalação de um manômetro de pressão e intertravamento das bombas BEL-01 e BEL-02 em caso de aumento de pressão a jusante das mesmas.

6.5.15. NÓ 15 – Tanque de Lodo - TQ-TRAN-LD

O nó 15 é destinado a análise do tanque de lodo que é responsável pelo armazenamento de lodo oriundo da elevatória para posterior envio para o tratamento de lodo e descarte. Foram analisados quatro parâmetros para o nó em questão: nível, rotação, vazão e pressão. Na Tabela 58 são mostrados os parâmetros e as respectivas palavras-chave utilizadas.

Tabela 58 - Desvios - Nó 15

Parâmetro	Palavra-chave	Desvio
Vazão (à jusante)	Mais	Vazão acima do especificado à jusante das bombas BTL-01 ou BTL-02
	Menos	Vazão abaixo do especificado à jusante das bombas BTL-01 ou BTL-02
	Não	Sem vazão à jusante das bombas BTL-01 ou BTL-02
Nível	Mais	Nível acima do especificado no tanque de lodo
Rotação	Não	Sem rotação da bomba misturadora de lodo

	Menos	Baixa rotação da bomba misturadora de lodo
Pressão	Mais	Pressão acima do especificado após bombas BTL-01 ou BTL-02

No total, foram identificados sete desvios. Dos sete desvios, um desvio foi associado ao parâmetro de nível, dois ao parâmetro de rotação, três ao parâmetro de vazão e um ao parâmetro de pressão. Dos setes desvios, seis desvios foram classificados como risco “moderado” e um como risco “baixo”, conforme Gráfico 26.

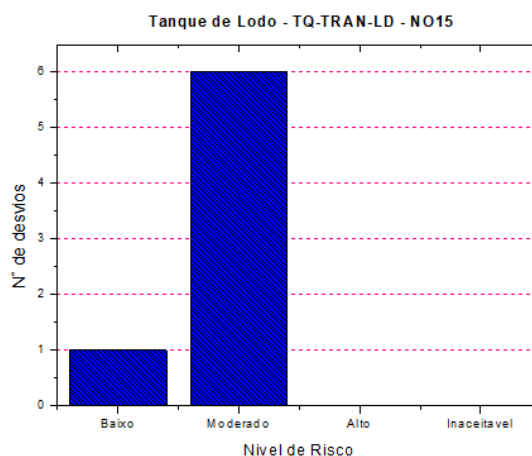


Gráfico 26 - Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 15

A Tabela 59 mostra os resultados obtidos após a análise de risco realizada.

Tabela 59 - Resultados da análise de risco Nó 15

Parâmetro	Palavra-chave	(O)		(S)		Risco	(D)	(P)	Critério Priorização
		Improvável	2	Baixa	2				
Vazão (à jusante)	Mais	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	2	2,0	Baixo
	Menos	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	2	2,0	Baixo
	Não	Improvável	2	Nenhuma	1	Baixo	3	0,67	Baixo
Pressão	Mais	Improvável	2	Média	3	Moderado	1	6,0	Médio
Nível	Mais	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	4	1,0	Baixo

Rotação	Menos	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	2	2,0	Baixo
	Não	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	2	2,0	Baixo

Na envoltória do nó analisado há somente dois instrumentos: sensor de nível de alta LSH-07 e sensor de nível de baixa LSL-08. Em termos dos instrumentos a serem priorizados para qualificação para o nó 15, o primeiro instrumento a ser qualificado seria o sensor de nível de alta LSH-07, pois consegue identificar e monitorar o desvio de “mais nível” no tanque de lodo classificado como risco “moderado”, que recebeu nível de detecção “elevada” e consequentemente diminuiu o critério de priorização de risco, conforme Tabela 59. Todos os outros desvios classificados como risco “moderado” tiveram o nível de detectabilidade classificados ou como “remoto” ou como “sem detecção”. Consequentemente, o segundo instrumentos a ser qualificado seria o sensor de nível de baixa LSL-07.

Sob o ponto de vista de tratamento dos riscos, o primeiro risco a ser priorizado de acordo com o critério de priorização é o desvio de “mais pressão” a jusante das bombas BTL-01 ou BTL-02 que o obteve a maior pontuação de 6. Este valor se deu pelo fato de o desvio não apresentar nenhum elemento de detecção, recebendo nível de detectabilidade igual a 1, ou seja, o pior caso. A principal causa identificada foi associada a falhas na execução de procedimento. A principal causa relatada de falha no procedimento foi o fechamento das válvulas manuais HV-31 e HV-32 a jusante das bombas BTL-01 e BTL-02, respectivamente, durante a operação. Dessa forma, as ações e recomendações listadas foram a de treinamento periódico dos colaboradores e a instalação de intertravamento em caso de aumento de pressão à jusante das bombas, assim como instalação de manômetro de pressão. Estas mesmas recomendações foram sugeridas no trabalho de Ibraim & Syed (2018) como ações a serem implementadas para identificação e monitoramento desse tipo de desvio.

6.5.16. NÓ 16 – Adensador Dinâmico - ADEN-01

O nó 16 é destinado a análise do adensador dinâmico, que é responsável pelo tratamento preliminar do lodo, assim como o tanque de lodo adensado (TQ-

LD-ADEN). Neste nó foram analisados cinco parâmetros: pressão, rotação, umidade, nível e pressão. Abaixo na Tabela 60 são mostrados os parâmetros e as respectivas palavras-chave utilizadas.

Tabela 60 - Desvios - Nó 16

Parâmetro	Palavra-chave	Desvio
Vazão	Menos	Vazão abaixo do especificado à jusante da bomba BLA-01
	Não	Sem vazão à jusante da bomba BLA-01
Nível	Mais	Nível de lodo adensado acima do especificado no tanque de lodo adensado (TQ-LD-ADEN)
Rotação	Menos	Baixa rotação no adensador dinâmico
	Menos	Baixa rotação no reator flutuador do adensador dinâmico
Pressão	Mais	Pressão acima do especificado dentro do adensador dinâmico
Umidade	Mais	Teor de umidade acima do especificado no lodo adensado

No total, foram identificados sete desvios, dos quais todos foram classificados como risco “moderado”, conforme Gráfico 27. Vale ressaltar que o desvio de “menos rotação” foi analisado tanto para o adensador dinâmico quanto para o reator flutuador que é acoplado ao adensador, visto que impacta na qualidade de adensamento do lodo.

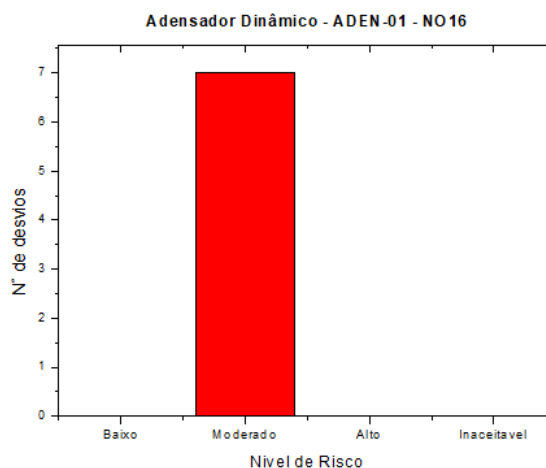


Gráfico 27 - Distribuição de desvios por nível de risco - N° 16

A seguir na Tabela 61 são apresentados os resultados obtidos após o envio do questionário.

Tabela 61 - Resultados da análise de risco N° 16

Parâmetro	Palavra-chave	(O)		(S)		Risco	(D)	(P)	Critério Priorização
		Improvável		Baixa					
Vazão (à jusante)	Menos	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	2	2,0	Baixo
	Não	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	2	2,0	Baixo
Nível	Mais	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	4	1,0	Baixo
Rotação do adensador	Menos	Improvável	2	Média	3	Moderado	4	1,5	Baixo
Rotação do reator flutuador	Menos	Improvável	2	Média	3	Moderado	4	1,5	Baixo
Pressão	Mais	Improvável	2	Média	3	Moderado	2	3,0	Baixo
Umidade	Mais	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	4	1,0	Baixo

Como todos os riscos foram classificados como “moderado”, foi necessário identificar aqueles que possuem nível detecção elevado para identificar o instrumento a ser priorizado para a qualificação. Dessa forma, os desvios de “mais nível”, “menos rotação do adensador” e “menos rotação do reator flutuador” foram aqueles que tiveram nível de detecção classificados como

elevada (4) por conta dos elementos de detecção e monitoramento presente. Dessa forma, sob o ponto de vista do nível de detecção, os três desvios obtiveram a mesma classificação, assim como a probabilidade de ocorrência. Portanto, o fator decisório para estabelecer a priorização do instrumento foi o nível de severidade. Dentre os três desvios selecionados, os desvios que obtiveram o índice de severidade mais elevado foram os desvios de “menos rotação do adensador” e “menos rotação do reator flutuador”, classificado como severidade “média”, visto que impacta na eficiência do adensamento do lodo. Portanto, os primeiros instrumentos a serem priorizados para qualificação neste nó são os indicadores de velocidade de rotação SIC-YY e SIC-YX do reator flutuador e do adensador dinâmico, respectivamente. O sensor de nível de alta LSH-09 que detecta o desvio de “mais nível” seria o segundo e o manômetro de pressão PI-YY do adensador dinâmico o último.

O desvio que obteve a maior pontuação foi o de “mais pressão” no adensador de dinâmico, obtendo a pontuação de 3. Desse modo, esse risco seria o primeiro a ser tratado. As principais ações e recomendações sugeridas foram a limpeza periódica do adensador dinâmico e elementos periféricos, instalação de intertravamento de acordo com o aumento de pressão dentro do adensador e treinamentos dos operadores. As principais causas relatadas para o desvio ocorrer foram obstrução da tubulação de saída do adensador e tela do tambor obstruída.

6.5.17. NÓ 17 – Centrífuga do tipo tambor CEN-01

Foram analisados quatro parâmetros para o nó 17 destinado a análise da centrífuga: vazão, rotação, pressão. Abaixo na Tabela 62 são mostrados os parâmetros e as respectivas palavras-chave utilizadas.

Tabela 62-Desvios - Nó 17

Parâmetro	Palavra-chave	Desvio
Vazão	<i>Mais</i>	Vazão acima do especificado à montante da centrífuga
	<i>Menos</i>	Vazão abaixo do especificado à montante da centrífuga

	Não	Sem vazão à montante da centrífuga
Rotação	Menos	Rotação da centrífuga abaixo do especificado
	Mais	Rotação da centrífuga acima do especificado
Pressão	Mais	Pressão acima do especificado dentro da centrífuga
Umidade	Mais	Teor de umidade acima do especificado no lodo centrifugado

Assim como o adensador dinâmico, foram identificados para o nó 17 sete desvios, dos quais quatro foram classificados como risco “moderado” e três classificados como risco “alto”, conforme Gráfico 28.

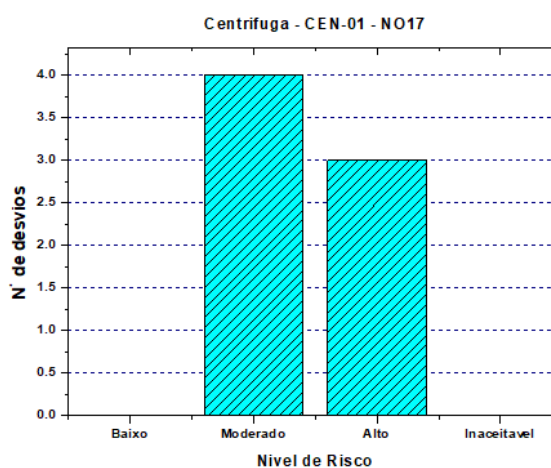


Gráfico 28 - Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 17

A Tabela 63 mostra os resultados obtidos para o nó 17 para todos os desvios identificados.

Tabela 63 - Resultados da análise de risco Nó 17

Parâmetro	Palavra-chave	(O)		(S)		Risco	(D)	(P)	Critério Priorização
Vazão	Mais	Improvável	2	Média	3	Moderado	1	6,0	Médio
	Menos	Possível	3	Baixa	2	Moderado	1	6,0	Médio
	Não	Improvável	2	Baixa	2	Moderado	1	4,0	Baixo
Rotação da centrífuga	Menos	Possível	3	Média	3	Alto	4	2,25	Baixo
	Mais	Possível	3	Alta	4	Alto	4	3,0	Baixo
Pressão	Mais	Possível	3	Baixa	2	Moderado	2	3,0	Baixo
Umidade	Mais	Possível	3	Alta	4	Alto	2	6,0	Médio

Para o nó 17 há somente um elemento de detecção e monitoramento que é o indicador controlador de velocidade de giro da centrífuga SIC-YXX. Portanto, não teve a necessidade de realização de uma lista de instrumentos para priorização de qualificação para o nó 17. Neste caso, somente o instrumento SIC-YXX será qualificado este nó. Apesar disso, é importante destacar a importância do SIC-YXX, pois é responsável pela identificação e monitoramento do desvio classificado como risco “alto” de “mais rotação” na centrífuga, assim como o desvio de “menos rotação” da centrífuga classificado como risco “moderado”. Para estes dois desvios, o nível de detecção foi classificado como detecção elevada justamente devido a presença do SIC-YXX, fazendo com que o critério de priorização para o tratamento do risco seja baixo.

Em termo dos resultados da análise de risco, foram identificados três desvios com pontuação de 6 com critério de nível de priorização “médio” para serem priorizados para tratamento e serem evitados. Esses desvios foram de “mais umidade” do lodo centrifugado, de “menos vazão” na entrada da centrífuga e de “mais vazão” na entrada de centrífuga. Para o desvio de “mais umidade” ocorrer foram identificadas como principais causas a baixa rotação da centrífuga, falha no tratamento prévio realizado no adensador dinâmico e falha no preparo de polímero. Como principal consequência desse desvio foi citada o descarte do

lodo fora do teor de umidade fora do especificado. O nível de detecção para este desvio foi considerado como remoto, sendo sugeridos para ações e recomendações a manutenção periódica da centrífuga e treinamento dos colaboradores. Para o desvio de “menos vazão” na entrada da centrífuga, as principais causas identificadas foram o fechamento parcial da válvula manual HV-28 e falha no bombeamento proveniente do adensador dinâmico. Para este desvio em especificado o nível de detecção foi considerado como “sem detecção” e com nível de ocorrência de “possível”, o que fez com que a pontuação se tornasse alto. Apesar disso, o nível de severidade foi classificado como “baixa”. As ações e recomendações para o tratamento do desvio foram a instalação de um medidor de vazão com estratégia de controle de acordo com a velocidade de rotação da centrífuga e intertravamento em caso de baixa vazão. Já para o desvio de “mais vazão” na entrada da centrífuga a única causa identificada foi aumento da vazão proveniente da etapa anterior de adensamento. Apesar de considerado “improvável” de ocorrer, o desvio foi classificado com severidade “média”, pois de acordo com a equipe multidisciplinar o desvio acarretaria na sobrecarga da centrífuga, aumento da pressão na centrífuga e ineficiência da centrifugação. Como o nível de detecção foi considerado como “sem detecção”, as ações e recomendações sugeridas foram a instalação de um medidor de vazão com estratégia de controle de acordo com a velocidade de rotação da centrífuga para evitar o sobrecarga na centrífuga.

6.5.18. NÓ 18- Tanque de polímero

O nó 18 foi direcionado para o estudo do tanque de polímero, onde foram analisados quatro parâmetros: pressão, rotação, nível e vazão. Na Tabela 64 são mostrados os parâmetros e as respectivas palavras-chave utilizadas para o nó em questão.

Tabela 64-Desvios - Nó 18

Parâmetro	Palavra-chave	Desvio
Vazão	Menos	Vazão de polímero abaixo do especificado à jusante das BDP-01 ou BDP-02
	Não	Sem vazão à jusante das bombas BDP-01 ou BDP-02
Nível	Mais	Nível de polímero acima do especificado no tanque de polímero
	Menos	Nível de polímero abaixo do especificado no tanque de polímero
Rotação	Não	Sem rotação do mixer do tanque de polímero
Pressão	Mais	Pressão acima do especificado à jusante das bombas BDP-01 ou BDP-02

No total, foram identificados seis desvios, dos quais cinco foram classificados como “moderado” e um classificado como risco “baixo”, conforme Gráfico 29. Todos os riscos foram classificados com nível de priorização “baixo”. O resultado da análise do nó 18 é apresentado na Tabela 65.

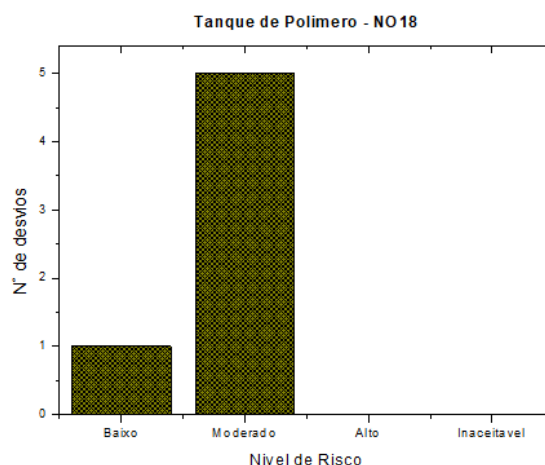


Gráfico 29 - Distribuição de desvios por nível de risco - Nó 18

Tabela 65 - Resultados da análise de risco Nó 18

Parâmetro	Palavra-chave	(O)		(S)		Risco	(D)	(P)	Critério Priorização
Vazão (à jusante)	Menos	Improvável	2	Média	3	Moderado	2	3,0	Baixo
	Não	Improvável	2	Média	3	Moderado	2	3,0	Baixo
Nível	Mais	Raro	1	Baixa	2	Baixo	2	1,0	Baixo
	Menos	Raro	1	Alta	4	Moderado	5	0,8	Baixo
Rotação do mixer	Não	Improvável	2	Média	3	Moderado	2	3,0	Baixo
Pressão	Mais	Improvável	2	Média	3	Moderado	2	3,0	Baixo

Na envoltória do nó em estudo, há somente um instrumento de detecção que é o sensor de nível de baixa LSL-08. Dessa forma, para este nó em específico não houve a necessidade de um ranqueamento de instrumentos a serem qualificados. Portanto, somente o sensor LSL-08 será qualificado nesta etapa.

Em relação aos resultados da análise de risco, as maiores pontuações foram de 3,0 associados aos desvios de “menos vazão”, “não vazão”, “não rotação” e “mais pressão”. Os desvios associados ao parâmetro de vazão obtiveram esta pontuação devido a severidade das consequências que foi classificado como “média”, pois afeta a etapa seguinte de adensamento de lodo por conta da vazão ineficiente. Como principais causas dos desvios do parâmetro de vazão, foram sinalizados principalmente falhas de execução de procedimento por conta da operação incorreta das válvulas manuais HV-20, HV-21 que estão a jusante das bombas BDP-01 e BDP-02, respectivamente e HV-17, HV-18 que estão a montante das bombas BDP-01 e BDP-02, assim como válvula HV-16 que está montante de ambas. Adicionalmente, foi comentado a possibilidade de falha mecânica das bombas BDP-01 e BDP-02, assim como seus respectivos inversores de frequência. Dessa forma, como ações e recomendações foram sugeridos principalmente treinamento periódico dos colaboradores e manutenção periódica dos equipamentos e a instalação de um

medidor de vazão.

O desvio que obteve o maior nível de severidade foi o desvio de “menos nível” do conteúdo no tanque de polímero, classificado com severidade “alta”. A classificação se justifica pelas consequências oriundas da quantidade ineficiente de polímero, que afeta na quantidade necessária para a etapa de adensamento do lodo na etapa seguinte. Em contrapartida, o desvio é detectado automaticamente pelo sensor de nível de baixa LSL-08, gerando uma pontuação baixo de 0,8. Em termos de ações e recomendações, sugeriu-se principalmente a verificação da validade de calibração do instrumento de detecção LSL-08. Este caso é um exemplo da importância da qualificação do instrumento LSL-08, que detecta um desvio com alta severidade.

A Tabela 66 mostra o ranqueamento dos instrumentos a serem qualificados para cada nó após os resultados obtidos.

Tabela 66 - Ranqueamento de instrumentos a serem qualificados por nó

Nó	Ranqueamento de instrumentos
1	1. LSH-02 2. FT-03 3. LSL-02
2	1. LSH-01 2. FT-01 3. LSL-01
3	1. FT-01
4	1. FT-02
5	-
6	1. AT-01-PH-01 2. LSL-03 E LSH-03 3. AT-01-TT-01
7	4. -
8	1. AT-02-OD-03 e AT-02-OD-02 2. LSH-05 e LSH-04 3. AT-02-TT-02 e AT-02-TT-03 4. LSH-05 e LSH-04
9	1. PI-01 e PI-02
10	-
11	1. SIC-RDS-02 e SIC-RDS-01
12	1. AT-04-PH-04 2. FT-05
13	1. LSH-10 2. LSL-10

14	1. FT-04
15	1. LSH-07 2. LSL-07
16	1. SIC-YY e SIC – YX 2. LSH-09 e LSH-09 3. PI-YY
17	SIC-YXX
18	1. LSL-08

6.6. Resultados estatísticos

Durante o andamento do trabalho foi possível observar a aderência dos participantes e as dificuldades encontradas durante a aplicação dos formulários. O Gráfico 30 mostra aderência dos participantes durante o estudo de acordo com cada nó estudado.

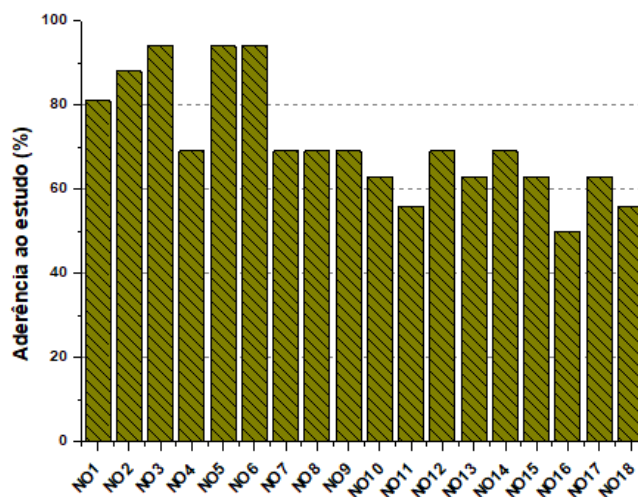


Gráfico 30- Aderência ao estudo

De acordo com os resultados, percebe-se o decaimento da participação dos participantes no estudo. Este comportamento era esperado de acordo com a NBR ISO 31010 que foi considerado como uma das principais fraquezas nas ferramentas de análise de risco, principalmente quando o trabalho é realizado por um longo período, o que diminui o engajamento dos participantes. Além disso, durante o andamento do trabalho alguns participantes ficaram impossibilitados de responder os questionários por conta de trabalhos externos e por alguns períodos não conciliarem as atividades laborais com a pesquisa. Adicionalmente, alguns participantes tiveram períodos de férias durante o

andamento do trabalho.

É importante destacar que o envio de dois formulários por semana para atender ao cronograma proposto também pode ter influenciado na diminuição da aderência dos participantes no trabalho, pois a alta quantidade de perguntas pode ter dificultado a conciliação dos participantes aos seus respectivos horários. Apesar dos imprevistos e dificuldades durante o andamento do trabalho, em todos os formulários a aderência foi maior que 50%, o que garantiu a viabilidade do projeto.

Em relação ao perfil geral da ETE do estudo de caso em termos de risco, os resultados do trabalho permitiram estabelecer a distribuição dos riscos de acordo com cada nó (Gráfico 31).

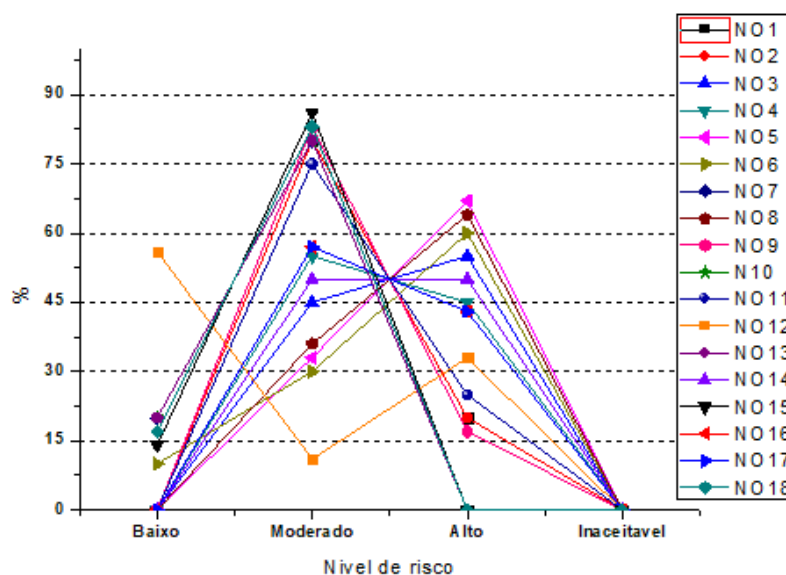


Gráfico 31 - Distribuição dos riscos por nó de estudo

Observa-se através do Gráfico 31 que em nenhum nó foi identificado um risco classificado como “inaceitável”. A distribuição se deu pelos níveis de risco “baixo”, “moderado” e “alto”. Isso mostra que com os equipamentos e procedimentos atuais na planta e apesar dos pontos de melhorias a serem implementadas na ETE, a planta não oferece riscos considerados “inaceitáveis”. A grande maioria dos desvios de acordo com cada nó foram considerados “moderados”, onde para todos os desvios foram feitas ações e sugestões a serem implementadas para evitar e tratar o risco. Enquanto os desvios considerados como risco “baixo” não foram feitas sugestões e ações, sendo considerados riscos aceitáveis. Apesar disso, é importante destacar a porcentagem dos riscos

classificados como “alto”, que indica algumas vulnerabilidades da planta que necessitam de atenção e que foram mostradas durante a discussão dos resultados.

Com o objetivo de avaliar o nível de monitoramento e detecção que conseqüentemente está atrelado a instrumentação das etapas, foi feita uma análise em termos da média das pontuações por nó de estudo que é mostrado no Gráfico 32.

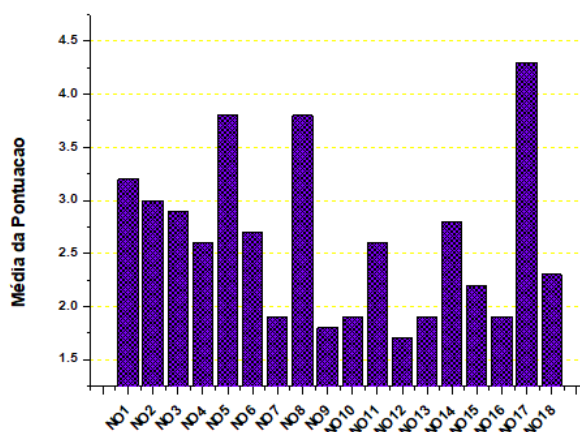


Gráfico 32 - Média da pontuação por nó de estudo

O nó 17 destinado a centrífuga obteve a maior média de pontuação, o que indica ausência de instrumentação e elementos de detecção e monitoramento para os desvios analisados (Gráfico 32). Outros dois nós, nó 5 para os tanques de ácido e base e nó 8 para os tanques de aeração, obtiveram média de 3,8, também indicando carecimento de elementos de monitoramento e detecção.

Os resultados da estatística descritiva são apresentados na Tabela 67.

Tabela 67 - Resultados da estatística descritiva

	Variável		
	Ocorrência	Severidade	Detectabilidade
N	140		
Média	2,44	2,55	2,54
Erro – Padrão da Média	0,0538	0,0683	0,066
Mediana	2,00	2,00	2,00
Desvio Padrão	0,637	0,808	0,781
Mínimo	1	1	1
Máximo	4	4	5
p Shapiro-Wilk	< 0,001		

Os resultados mostram que a distribuição dos dados para as variáveis de “ocorrência”, “severidade” e “detectabilidade” não possuem distribuição normal,

pois o valor de p Shapiro-Wilk ficou abaixo de 0,05, podendo, portanto, ser aplicado o cálculo do coeficiente de Spearman. Adicionalmente, os resultados mostram que dos 140 desvios identificados, nenhum obteve a classificação máxima de severidade, assim como o máximo nível de ocorrência, demonstrando que nenhum desvio foi considerado como nível “catastrófico” e “certo de ocorrer”. Em relação ao nível de detecção em específico, os resultados mostram que houve desvios que tiveram alta detectabilidade e outros sem nenhuma detectabilidade. Assim como citado anteriormente, a ausência de elementos de detecção justifica esses resultados, demonstrando a importância da implementação das ações e recomendações sugeridas na análise de risco. Os valores médios das variáveis ficaram entre os níveis 2 e 3 da escala utilizada, conforme pode ser visto na Tabela 67 e corroborada pela Tabela 68.

Tabela 68 - Contagem e distribuição dos níveis

Nível de Escala	Ocorrência		Severidade		Detectabilidade	
	Contagens	% Total	Contagens	% Total	Contagens	% Total
1	8	5,7	10	7,1	7	5,0
2	66	47,1	61	43,6	68	48,6
3	63	45,0	51	36,4	49	35,0
4	3	2,1	18	12,9	15	10,7
5	0	0	0	0	1	0,7

Os resultados indicam que o nível da probabilidade de ocorrência dos desvios ficou entre “improvável” de ocorrer e “possível” de ocorrer, enquanto para a severidade dos desvios ficou entre “média” e “baixa”. Em relação a distribuição dos níveis de detecção, percebe-se que os níveis ficaram entre detecção “moderada” e “remota”, sendo mais um indicativo do carência de elementos de detecção.

O cálculo do Coeficiente de Spearman gerou a matriz de correlação entre as variáveis de interesse (Tabela 69). Os valores de “ p ” abaixo de 0,05 indicam relevância de correlação entre as variáveis, sinalizando a correlação entre as variáveis de “severidade” e “ocorrência” e entre “pontuação” e “detectabilidade”. A relação entre estas últimas era esperada, pois o racional utilizado na metodologia para o cálculo da pontuação é inversamente proporcional ao nível de detecção (detectabilidade). Ou seja, quanto maior a pontuação, mais baixo é o nível de detecção, apresentando, portanto, uma correlação negativa indicada pelo valor do coeficiente de Spearman de -0,169. A correlação entre as variáveis

de “severidade” e “ocorrência” revela uma correlação positiva entre as variáveis, com valor de 0,333 do Coeficiente de Spearman. Esse resultado é interessante, pois indica que para o sistema do estudo em questão, os desvios com maiores probabilidades de ocorrência também são aqueles que possuem maiores níveis de severidade. Considerando a o grau de correlação apresentado na Tabela 22, a correlação entre as variáveis é baixa. Entretanto, o resultado reforça a implementação das ações e recomendações para evitar que esses desvios ocorram, buscando melhoria contínua e conseqüentemente, o enfraquecimento da correlação entre essas variáveis.

Tabela 69 - Matriz de correlação das variáveis com sinalização de correlações significativas por “**”

		Ocorrência	Detectabilidade	Severidade	Pontuação
Ocorrência	<i>Coeficiente de Spearman</i>	-	-	-	-
	<i>Valor de p</i>	-	-	-	-
Detectabilidade	<i>Coeficiente de Spearman</i>	0,019	-	-	-
	<i>Valor de p</i>	0,828	-	-	-
Severidade	<i>Coeficiente de Spearman</i>	0,330*	0,085	-	-
	<i>Valor de p</i>	<0,001*	0,318	-	-
Pontuação	<i>Coeficiente de Spearman</i>	0,027	-0,169*	0,070	-
	<i>Valor de p</i>	0,751	0,046*	0,414	-

Sob o ponto de vista da indústria farmacêutica, os resultados demonstram que os investimentos tanto em equipamentos quanto em automação são direcionados aos processos produtivos, visto que as exigências de qualidade são elevadas e o produto tem alto valor agregado. Percebe-se as plantas a jusante da produção, ou seja, as estações de tratamento de efluente industriais, são deixadas em segundo plano apesar de possuírem importância equivalente aos processos produtivos. Dessa forma, os dados mostram a importância para o investimento e implementação das ações e recomendações sugeridas na análise de risco, assim como a extensão do conceito de qualificação para as estações de tratamento de efluentes industriais para que a planta tenha capacidade de operar adequadamente sem oferecer riscos aos colaboradores, meio ambiente e saúde pública.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível observar inicialmente no estado da arte a importância da utilização de análise de risco para as estações de tratamento de efluente industrial e de tratamento de água, com o objetivo de evitar falhas de processos e riscos para o meio ambiente e saúde humana. Entretanto, poucos trabalhos científicos voltados para a aplicação das ferramentas de análise de risco em estações de tratamento de efluente na indústria farmacêutica foram encontrados, mostrando ausência da aplicação para as ETE do setor. Portanto, percebe-se que sua utilização é de grande valia para auxiliar na operação das estações de tratamento de efluentes, assim como sinalizar pontos de melhoria, devendo ser fomentadas pelas instituições e pelos gestores das áreas.

Através da fundamentação teórica foi possível identificar as exigências intrínsecas de biossegurança na indústria farmacêutica que necessitam ser cumpridas para atenderem aos padrões de qualidade de um produto que será utilizado pelos seres humanos. O mapeamento dessas exigências foi importante para avaliar se elas estavam sendo cumpridas na instituição do estudo de caso. Alinhado a isso foram descritas as principais características dos fluxos de processos utilizados pelas industriais farmacêuticas, que possibilitou a caracterização dos efluentes a serem tratados para cada caso.

Através da contextualização do estudo de caso, foi possível identificar as características das instalações e atividades das áreas produtivas da instituição do estudo de caso de acordo com exigências de boas práticas de fabricação e biossegurança, assim como as diretrizes utilizadas para o tratamento de seus efluentes.

Os resultados da análise preliminar de risco permitiram estabelecer além dos riscos e perigos da planta através do conhecimento dos operadores e engenheiros, estabelecer o panorama geral do conhecimento dos colaboradores em relação a área que atuam suas perspectivas em relação ao que é considerado risco ou perigoso para eles. Percebeu-se que na análise preliminar os principais riscos e perigos sinalizados foram em relação a falhas mecânicas ou elétricas dos equipamentos, mas careceram de informações que afetassem

o processo em termos da variação de parâmetros. Esses resultados mostram relação com os procedimentos diários realizadas pelos operadores, que muitas das vezes realizam as operações e desconhecem de alguns parâmetros importantes de cada etapa que afetam o processo. Isso mostra que treinamentos periódicos dos colaboradores nas operações alinhado com o entendimento mais aprofundamento do processo e suas variáveis críticas são importantes para o adequado funcionamento da planta.

Como fruto da aplicação da ferramenta proposta, o trabalho forneceu a análise de risco completa da planta, auxiliando no tratamento dos riscos e na melhoria contínua. Vale ressaltar que a ETE serviu de estudo de caso para a aplicação da ferramenta, podendo a ferramenta ser aplicada em todas as etapas de um processo produtivo farmacêutico, desde a produção até o tratamento de seus efluentes. É importante sinalizar que os resultados revelaram carência de investimentos em instrumentação e automação na estação de tratamento, visto que a importância tecnológica é dada principalmente para aos processos produtivos. Desse modo, defende-se a extensão do conceito de qualificação tanto dos instrumentos quanto dos equipamentos nas estações de tratamento de efluente da indústria farmacêutica, pois elas possuem importância equivalente ao processo produtivo devido as responsabilidades de cunho ambiental e de saúde pública.

Apesar das vantagens da utilização da ferramenta proposta, é importante destacar também as fragilidades de sua aplicação. Uma das limitações principais encontradas durante o trabalho foi manter o engajamento das participantes, pois a quantidade de questionários e perguntas alinhado a duração da pesquisa pode ter sido cansativo para os colaboradores. Dessa forma, conciliar as atividades de rotina dos colaboradores com o preenchimento dos questionários foi um ponto desafiador que pode ter diminuído a aderência ao estudo. Além disso a cultura da empresa foi um limitante, pois o gerenciamento de risco em algumas áreas da instituição não é fomentado e os colaboradores encaram como mais uma tarefa a ser realizada. Entretanto, em todos os questionários a aderência dos participantes foi acima de 50%, permitindo a execução e a conclusão desta pesquisa, mostrando que o envio dos formulários via on-line com o auxílio da técnica Delphi foi um caminho satisfatório.

8. CONCLUSÃO

Através do estudo de caso na planta de tratamento de efluente de indústria farmacêutica, o trabalho mostrou que a aplicação da ferramenta de análise de risco HAZOP integrada a matriz de risco, com o auxílio da técnica Delphi para obtenção dos resultados, mostrou-se uma potencial ferramenta para ser utilizada para fins de priorização da qualificação de instrumentos na indústria farmacêutica e nas estações de tratamento de efluente industriais. A ferramenta permitiu priorizar a qualificação dos instrumentos para os 18 nós de estudo de acordo com seu potencial em identificar riscos com severidade elevada, além de sugerir ações e recomendações para o tratamento dos riscos identificados.

Adicionalmente, conclui-se que alinhado a utilização da ferramenta de análise de risco HAZOP integrada com a matriz de risco para auxiliar na priorização da qualificação de instrumentos na indústria farmacêutica, é importante fomentar na empresa a importância do gerenciamento de risco em todas as áreas e destinar um colaborador responsável por essa atividade nas áreas como ponto focal. Como sugestões para trabalhos futuros, é importante realizar o mesmo estudo na central inativação que antecede a estação de tratamento de efluente, objetivando identificação os riscos e seus impactos para a planta de tratamento, assim como aplicar a ferramenta nos processos produtivos da indústria farmacêutica.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDOLLAHI, M.; KOOPAEI, N.N. Health risk associated with the pharmaceuticals in wastewater. DARU. Journal of Pharmaceutical Sciences.2017

ADISHKUMAR, S,; KANMANIM S. Treatment of phenolic wastewaters in single baffle reactor by Solar/TiO₂/H₂O₂ process. Desalination and Water Treatment. Vol24. 2010.

AKENGA, P.; GACHANJA, A.;FITZSIMONS, M.F.; TAPPIN, A.; COMBER, S., Uptake, accumulation and impact of antiretroviral and antiviral pharmaceutical compounds in lettuce. Science of the total Environment. 2021.

ALATON, I.A.; DOGRUEL, S.; BAYKAL, E.; GERONE, G. Combined chemical and biological oxidation of penicillin formulation effluent. Environmental Management.155-163. 2004.

ALTAMIRANO, M.J.; MARQUEZ, P.M.; PEREZ, S.; RODELAS, B.; POZO, C.; OSORIO,F. Fate of pharmaceutically active compounds in a pilot-scale A2O integrated fixed-film activated sludge (IFAS) process treating municipal wastewater. Journal of Environmental Chemical Engineering. Elsevier. 2021.

AHMED, M.B.; ZHOU,J.L.; NGO,H.H.;GUO,W.;THOMAIDIS, N.S.;XU,J. Progress in the biological and chemical treatment technologies for emerging removal from wastewater: A critical review. Journal of hazardous Materials. 2016.

ANALOUEI, R.; TAHERIYOUN, M. SAFAVI, H.R. Risk assessment of an industrial wastewater treatment and reclamation plant using the bow-tie method. Environmental Monitoring and Assessment. Springer Nature Switzerland. 2020.

ARSLAN-ALATON, I.; DOGRUEL, S. Pre-treatment of penicillin formulation effluent by advanced oxidation processes” Journal of Hazardous Materials 112 (1-2), 105-113. 2014

ARUNDEL, J. Sewage and Industrial Effluent Treatment. Blackwel Publishing Ltd. Second Edition. 2000.

ASGARIAN, M.; TABESH, M.; ROOZBAHANI, AB.; BAVANI, E.B. Assessment and Management of Wastewater Collection and Treatment Systems Using FMADM Methods. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering. Springer. 2018.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAL TÉCNICAS. NBR ISO 14644-1 – Salas Limpas e ambientes controlados associados. Parte 1: Classificação da limpeza do ar por concentração de partículas. Rio de Janeiro. 2 ed. 2019.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 31010 – Gestão de riscos: Técnicas para processos de avaliação de riscos. 2021.

AVEN, T. Improving risk characterizations in practical situations by highlighting knowledge aspects, with applications to risk matrices. *Reliability Engineering and System Safety*. Elsevier. 2017.

AVEN, T. Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*. Elsevier. 2016.

AZAR, E.; INCE, M.; KARATOPRAK, B.; BILGILI, M.S. The risk analysis by failure mode and effect analysis (FMEA) and fuzzy-FMEA of supercritical water gasification system used in the sewage sludge treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Elsevier. 2017.

AZIZ, H.A.; AMR, S.S.A. Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Water and Wastewater Treatment. *Advances in Environmental Engineering and Green Technologies (AEEGT) Book Series*. IGI Global. 2019.

BADAWY M. I.; WAHAAB, R. A. Fenton-biological treatment processes for the removal of some pharmaceuticals from industrial wastewater. *J. Hazard. Mater.* 167, 567–574. 2009.

BARGUES, J.L.F.; CRUZ, C.G.; GAYA, C.G.; PEREZ, P.B. Risk analysis of a fuel storage terminal using HAZOP and FTA. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. MDPI. 2017.

BALCIOGLU I. A.; OTKER, M. Treatment of pharmaceutical wastewater containing antibiotics by O₃ and O₃/H₂O₂ processes. *Chemosphere*, 50, 85–95. 2003.

BENEDETTI, E.B.M. ; SANCHEZ, D.I.F; SUAREZ, A.J.U; RODRIGUES, D.P.U; Gracia-Rojas, J.; PUELLO, J.M Analysis of Operational Risks in the Storage of Liquid Ammonium Nitrate in a Petrochemical Plant, through the HAZOP Methodology. *Chem. Eng.* 67, 883–888. 2018.

BEYGMOHAMMDI, F.; KAZEROUNI, H.N.; JAFARZADEHY.; HAZRATI, H. & YEGANI, R. Preparation and characterization of PVDF/PVP-GO membranes to be used in MBR system. *Chemical Engineering Research and Design*, 154, 232–240. 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada. RDC n 658. Brasília, DF. 2022. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-658-de-30-de-marco-de-2022-389846242>>. Acesso em 21. junho. 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa. IN 35. Brasília, DF. 2019. Disponível em: <http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/5389382/IN_35_2019_COMP.pdf/bf4ab3da-b130-43ab-913d-243fd2efb86f>. Acesso em 21. junho. 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa. IN 138. Brasília, DF. 2019. Disponível em: <<https://sindusfarma.org.br/uploads/files/8e1f-diego-silva/2022/Anvisa/RDC%20BPF%20-%20Anvisa/file%20-%20Copy%2012.pdf>>. Acesso em 21. junho. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução número 430 de 13 de maio de 2011. Brasília, 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução número 357 de 17 março de 2005. Brasília, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução número 22 de 28 março de 2018. Brasília, 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria Número 1428 de 6 de novembro de 1993. Brasília. DF. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1993/prt1428_26_11_1993.html>. Acesso em 12. Setembro.2022.

BRODIN, T.; PIOVANO, S.; FICK, J.; KLAMINDER, J.; HEYNEN, M.; JONSSON, M. Ecological effects of pharmaceuticals in aquatic systems-impacts through behavioral alterations. *Philosophical Transactions B*. PubMed Central. 369 (1656). 2014.

CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY (CCPS). Guidelines for implements process safety management system. American Institute for Chemical Engineers. New York. 2021.

CHELLIAPAN, S.; SALLIS, P. J. Application of anaerobic biotechnology for pharmaceutical wastewater treatment. *IIOAB J*. pag 13–21. 2012.

CHUANG, Y.H.; LIU, C.H.; SALLACH, J.B.; HAMMERSCHMIDT, R., Zhang, W., Boyd, S.A., Li, H. Mechanistic study on uptake and transport of pharmaceuticals in lettuce from water. *Environmental International*. 2019.

CHEN, X.D., DONG, L.F. & WEI, Y. Progress in modified MBR with TiO₂ for wastewater reuse. In: Cui, C., Li, Y. & Yuan, Z. (Eds.) *Advanced materials research*. Zurich: Trans Tech Publications, pp. 2236–2239. 2012

CHEN, Z.; WANG, H.; CHEN, Z.; REN, N.; WANG, A.; SHI, Y.; LI, X. Performance and model of a full scale up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) to treat the pharmaceutical wastewater containing 6-APA and amoxicillin. *Journal of Hazardous Materials*. Elsevier. 2011

CHOI, B.C.K. The past, present, and future of public health surveillance. *Scientifica*. Volume 12, 2012. 2012.

CIBATI, A.; GONZALEZ,R.; RODRIGUEZ, S.;BUTTIGLIERI, G. Unravelling the performance of UV/H₂O₂ on the removal of pharmaceuticals in real industrial, hospital, grey and urban wastewaters. *Chemosphere*. Elsevier. 2022.

CLEMENTS, C.C. The structured What if/Checklist Hazard Evaluation Methodology. *Global Congress on Process Safety*. 2012.

COUTO, C.F.; SANTOS, A.V.; AMARAL, M.C.S.; LANGE, L.C.; ANDRADE, L.H.; FOUREAU, A.F.S. Assessing potential of nanofiltration, reverse osmosis and membrane distillation drinking water treatment for pharmaceutical active compounds removal. *Journal of Water Process Engineering*. Elsevier. 2020.

CRAWLEY, F.; TYLER, B. HAZOP: Guide to best practice. Guidelines to best practice for the process and chemical industries. Elsevier. Third Edition. 2015.

CREAMER, M.C.; VARKER, T.; BISSON, J.; DARTE, K.; GREEMBERG, N.; LAU,W.; MORETON, G.; O'DONNELL, M.; RICHARDSON, D.; RUZEK, J.; WATSON, P.; FORBES, D. Guidelines for peer support in high risk organizations: an international consensus study using Delphi method. *International Society for Traumatic Stress Studies. Journal of Traumatic Stress*. 134-141. April. 2012.

DALKEY, N.C.; HELMER, O. An experimental application of the Delphi Method to the use of experts. *Management Science*. 458-468. 1963.

DELGADO,N.; CAPPARELLI, A.; NAVARRO, A.; MARINO, D. Pharmaceutical emerging pollutants removal from water using powdered activated carbon: Study of kinetics and adsorption equilibrium. *Journal of Environmental Management*. Elsevier. 2019.

DEEGAN, A. M.; SHAIK, B.; NOLAN, K.; URELL, K.; TOBIN, J.; MORRISSEY, A. Treatment options for wastewater effluents from pharmaceutical companies. *Int. J. Environ. Sci. Technol*. 649–666. 2011.

DUNJÓ, J.; FTHENAKIS, V.; VILCHEZ, J.A.; ARNALDOS, J. Hazard and operability (HAZOP) analysis. A literature review. *Journal of Hazardous Materials*. 2010.

EMA. European Medicines Agency: Science Medicines Health. Guideline on the quality of water for pharmaceutical use. 2020

EFPIA. European Federation of Pharmaceutical Industries and Associations; The Pharmaceutical Industries in Figures. Key Data. 2022.

ERDEM, F. Risk assessment with the fuzzy logic method for Ankara OIZ environmental wastewater treatment plant. *Turkish Journal of Engineering*. 2022.

ERICSON, C.A. Hazard analysis techniques for system safety. 2nd. New Jersey: Jhon Wiley & Sons. 2015.

FARIA, C.V.; MOREIRA, G.C.; ARAUJO, A.P.B.; MARQUES, L.E.; OLIVEIRA, L.P.; R ICCI, B.C.; AMARAL, M.C.S.; FONSECA, F.V. Integration of ozonation and an anaerobic expanded granular sludge bed reactor for micropollutant removal from sewage. *Environmental Science and Pollution Research*. October. 2020.

FALAKH, F.; SETIANI, O. Hazard Identification and Risk Assessment in Water Treatment Plant considering Environmental Health and Safety Practice. *ICENIS*. 2017.

FERNANDES, J.C. Análise de Perigo e Pontos Críticos de Controle (APPCC) aplicada ao processo de produção de açúcar. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de Lorena. 2015.

FERNANDES, S.Z. Análise da Segurança de Processos Baseada em Riscos no Ciclo de Vida das Plataformas de Petróleo. Dissertação de Mestrado. Programa de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2018.

FRATTAROLA, A.; DOMINI, M.; SORLINI, S. The use of a risk assessment tool based on the Sanitation Safety Planning approach for the improvement of O&M procedures of a wastewater treatment plant in Tanzania. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. Taylor & Francis. 2018.

GADIPALLY, C.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; YADAV, G. D.; ORTIZ, I.; IBÁÑEZ, R.; RATHOD, V. K.; MARATHE, K. V. Pharmaceutical Industry Wastewater: Review of the Technologies for Water Treatment and Reuse". *Industrial & Engineering Chemistry Research* 53, 11571-11592. 2014

GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GIORDANO, G.; SURERUS, V. Efluentes Industriais – Estudo de Tratabilidade. Rio de Janeiro. V1, 2015.

GONZALEZ, R.B.G.; SHARMA, P.; SINGH, S.P.; PINHEIRO, J.H.P.A.; SALDÍVAR, R.P.; BILAL, M.; IQBAL, H.M.N. Persistence, environmental hazards, and mitigation of pharmaceutically active residual contaminants from water matrices. *Science of the total environment*. Elsevier. 2022.

GRACHT, H.A.V. Consensus measurement in Delphi studies. Review and implications for future quality assurance. *Technological Forecasting & Social Change*. Elsevier. 1525-1536. 2012

GUPTA, R., SATI, B., GUPTA, A. Treatment and Recycling of Wastewater from Pharmaceutical Industry, *Advances in Biological Treatment of Industrial Wastewater and their Recycling for a Sustainable Future*, 267-302. 2018.

HAMBLETON, P.; MELLING, J.; SALUSBURY, T.T. Biosafety in Industrial biotechnology. Springer Science Business Media. 1 ed. 1994

HELMIG E. G.; FETTIG, J. D.; CORDONE, L.; SCHOENBERG, T. H.; DEMARCO, M. J.; SURI, P. S. API removal from pharmaceutical manufacturing wastewater. Results of process development, pilot testing, and scale-up. WEFTEC.05, Conf. Proc., Annu. Tech. Exhib. Conf., 78th 207–226. 2005,

HERRERA, M.A.O. Análise de risco: estado da arte da metodologia Hazop generalizada, aplicações e perspectivas na indústria de processos. Vigilância sanitária em debate: sociedade, ciência e tecnologia. (6)2. 106-121. 2018.

HERRERA, M.A.O.; LUNA, A.S.; LEMES, E.M. A structural approach to the HAZOP and Hazard and operability technique in biopharmaceutical industry. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Elsevier. 2015.

HONG,X.; ZHAO,G.;ZHOU, Y.; CHEN,R.; LI, J.; ZHA,J. Risks to aquatic environments posed by 14 pharmaceuticals as illustrated by their effects on zebrafish behaviour. Science of the total environment. Elsevier. 2021

HUSS, H.H. Assurance of seafood quality. PAO Fisheries Technical paper. Rome. N, 334. 169p. 1993.

HYATT, N. Guidelines for process hazard analysis, hazards identification & risk analysis. 1 edition. CRC Press. March, 2004.

IBRAHIM, H.A.; SYED, H.S. Hazard Analysis of Crude Oil Storage Tank Farm. Int. J. ChemTech Res. 300–308. 2018.

ICE 61882 – International Electrotechnical Commission – Hazard and operability studies (HAZOP studies) – Application guide.2016.

IEC – International Electrotechnical Commission – Guide 51 – Safety Aspect. 2014.

IEC – International Electrotechnical Commission – 61882 – Hazard and Operability Studies (HAZOP Studies). 2016.

ICH – International Council for Harmonization. Harmonized Tripartite Guideline Quality Risk Management. Q9 Current Step. 4 version. 9 november, 2005.

ISMAEL, O.A.; AHMED, I.M. Using Quality Risk Management in Pharmaceutical Industries: A Case Study. Quality Management. Quality Access to Success. Vol. 21. No178. Outubro. 2020.

JAYAKUMARAN, S. The Impact of China's Environmental Law on the Procurement of API and Excipients. Disponível em: <<https://www.beroeinc.com/whitepaper/the-impact-chinas-environmental-law-on-procurement-of-api-and-excipients/>>:. Acesso em 07 de Janeiro.2023.

JOHNSON, D.H.; BIDEZ, MW.; DELUCAS, L.J. Assessment in the Development of Biomedical Drug Formulation Equipment. Annals of Biomedical Engineering. BMES 0 Biomedical Engineering Society. V.4, no4. April, 2012.

KESSLER, R. Pharmaceutical factories as a source of drugs in water. *Environmental Health Perspective* 118, 383-395. 2010

KHAN, F.I.; ABBASI, S.A. OptHAZOP – an effective and optimum approach for hazop study. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Elsevier. 1997.

KLETZ, T.A. IC'S contribution to process safety. Rugby: IChemE. Symposium series. Vol.155.2009.

KOTEC, L.; TABAS, M. Hazop study with qualitative risk analysis for prioritization of corrective and preventive actions. *Procedia Engineering*. Elsevier. 2012.

LI, Y.; SALLACH, J.B.; ZHANG, W.; BOYD, S.A.; LI, H. Insight into the distribution of pharmaceuticals in soil-water-plant systems. *Water Research*. 2019

LIMA, J.T.; SIEGLE, M.; KOSŁOWSKI, L.A.D. SAÚDE E SEGURANÇA OCUPACIONAL EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO: UM ESTUDO PRELIMINAR. *Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá*. Paraná. 2021.

LI, D.; YAN, H.; WANG, H. Recent advances in polymer and polymer composite membranes for reverse and forward osmosis processes. *Progress in Polymer Science*. Elsevier. 2016.

LISTONE, H.A.; TUROFF, M. *The Delphi Method: Techniques and Applications*. University of Southern California. 2002.

LIU, C.; GUO, Y.; ZHOU, Y.; YANG, B.; XIAO, K.; ZHAO, H. High-hydrophilic and antifouling reverse osmosis membrane prepared based an unconventional radiation method for pharmaceutical plant effluent treatment. *Separation and Purification Technology*. Elsevier. 2022.

LOJ-PILCH, M.; ZAKRZEWSKA, A. Analysis of Risk Assessment in a Municipal Wastewater Treatment Plant Located in Upper Silesia. *Water*. MDPI. 2020.

LOPES, D.G.; DUARTE, I.A.; ANTUNES, M.; FONSECA, V.F. Effects of antidepressants in the reproduction of aquatic organism: a meta-analysis. *Aquatic Toxicology*. Elsevier. 2020.

LYON, B.K.; POPOV, G. The power of what if: assessing and understanding. *Professional safety*. Risk assessments. June, 2020.

MADVARI, R.F.; MOHAMMADIAN, Y.; MADVARI, A.F.; NAJAFI, K.; SARSANGI, V.; LAAL, F. The Effect of Integrated Management System on Risk priority Number of Environmental Assessment by FMEA Method in Yazd Persepolis Tile Factory. *Journal of Disaster & Emergency Research*. 23-28. 2018.

MALLAKPOUR, S.; AZADI, E. Nanofiltration membranes for food and pharmaceutical industries. Qatar University and Springer Nature Switzerland. 2021

MARHAVILAS, P.K.; FILIPPIDIS, M.; KOULINAS, G.K.; KOULOURIOTIS, D.E. A HAZOP with MCDM Based Risk-Assessment Approach: Focusing on the Deviations with Economic/Health/Environmental Impacts in a Process Industry. Sustainability. 2020.

MARKOVIC, J.T.; MUCENSKI, V.; SAVIC, D.; VELKOVSKI, T.; PESKO, I.; TOMAS, L. Risk Assessment Model for Planning and Design Processes of Wastewater Treatment Plants. Periodica Polytechnica Civil Engineering. 65(1) pp 181-190 October, 2021.

MARTÍNEZ, A.; VLLS, D.; DÍAZ, M. Identification of biomarkers responsive to chronic exposure to pharmaceuticals in target tissues of *Carcinus maenas*. Marine Environmental Research. Vol 87-88. Pag.1-11. 2013.

MARTZ, M. Effective Wastewater Treatment in the Pharmaceutical Industry. Pharmaceutical Engineering. November, 2012.

MARYAN, B.; BUSCIO, V.; ODABASI, S.U.; BUYUKGUNGOR, H. A study on behavior, interaction and rejection of paracetamol, diclofenac and ibuprofen (PhACs) from wastewater by nanofiltration membranes. Environmental Technology & Innovation. Elsevier. 2020.

MCDERMOTT, R.R.; MIKULAK, R.J.; BEAUREGARD, M.R. The basics of FMEA. 2nd Edition. CRC Press. Taylor & Francis Group. 2009.

McSWANE, D. RUE, N.; LINTON, R. Essentials of food safety and sanitation. New Jersey. 3 ed. Pearson Education. 169 – 196 p. 2003.

MELO, S. A. S., TROVÓ, A. G., BAUTITZ, I. R., et al., Degradation of Residual Pharmaceuticals by Advanced Oxidation Processes”, Química Nova 32 (1), 188-197. 2009.

MENEZES, T.J.T.; GOMES, C.F.S. Pharmaceutical industrial equipment qualification in Brazil: a strategic test proposal for vaccine secondary material packaging lines. Health and Technology. 1181-1194. July.2020.

METCALF; L.; EDDY. Tratamento de Efluentes e recuperação de recursos. Mc Graw Hill Education. Bookman. 5 ed. Porto Alegre. 2016

MINGUEZ, L.; PEDELUCQ, J.; FARCY Toxicities of 48 pharmaceuticals and their freshwater and marine environmental assessment in northwestern France. Environmental Science and Pollution Research. Outubro. 2014

MODARRES, M. Risk Analysis in Engineering: Techniques, Tools, and Trends. Taylor & Francis Group. New York. p, 448. 2006

MORDECHAY, E.; TARCHITZKY, J.; CHEN, Y.; SHENKER, M.; CCHEFETZ, B. Composted biosolids and treated wastewater as sources of pharmaceuticals and personal care products for plant uptake: a case study with carbamazepine. Environmental Pollution. 2018.

MORETTO, L.D.; J, CALIXTO. Boas práticas de fabricação. Guia de autoinspeção na indústria farmacêutica. V.8.1. São Paulo. Sindusfarma. 2011.

MORAVIA, W.G.; MIRIAM, C. A.; LISÉTE, C. L. Evaluation of landfill leachate treatment by advanced oxidative process by Fenton's reagent combined with membrane separation system. Waste Management. New York, N.Y. 2013.

MUNIZ, M.V.P. Análise crítica da contribuição da técnica LOPA na gestão de segurança de processo na indústria. Dissertação de Mestrado em Sistema de Gestão. Departamento de Engenharia de Produção. Universidade Federal Fluminense. 2016.

MUTLU, N.G.; ALTUNTAS, S. TURKDOGAN, I. Failure modes and effects analysis for cogeneration unit in a wastewater treatment plant. Icens. International Conference on Engineering and natural science. 2016.

NBR ISO. International Organization for Standardization. ISO 31010: 2019 – Gestão de riscos: Técnicas para processos de avaliação de riscos. 2021.

NOBLE, J. GE ZeeWeed. MBR Technology for pharmaceutical wastewater treatment. Membrane Technology. Pag 7-9. September. 2006.

NOLAN, D.P. Application of hazop and what-if safety reviews to the petroleum, petrochemical and chemical industries. Nowes publications. 1994.

OUYANG, Z.; HUANG,Z.; TANG, X. A dually charged nanofiltration membrane by pH-responsive polydopamine for pharmaceutical and personal care products removal. Separation and Purification Technology. Elsevier. 2019

PAQUES, J.J.;GAUTHIER,F.; PEREZ,A. Analysis and Classification of the tools for assessing the risks associated with industrial machines. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. Vol.13. pg.173-187.2007.

PANELAS, A.J.; PIRES, J.C.M. HAZOP Analysis in Terms of Safety Operations Processes for Oil Production Units: A Case Study. Applied Sciences. MDPI. 2021.

POLLARD, S.J.T.; STEPHENSON, T. Risk Management for Water and Wastewater Utilities. Water and Wastewater process technologies series. 2 edition. IWA Publishing.2016.

POWER, M. The risk management of everything. *The Journal of Risk Finance*. Vol 5. 2004.

PROBIOGAS. Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o Brasil. 1 ed, Ministério das Cidades, Brasília, 2015.

RAJKUMAR, D.; PALANIVELU, K. Electrochemical treatment of industrial wastewater. *Journal Hazardous materials*. 2004.

RATHI, B.S.; KUMAR, P.S.; VO, D.V.N. Critical review on hazardous pollutants in water environment: Occurrence, monitoring, fate, removal technologies and risk assessment. *Science of the Total Environment*. Elsevier. 2021.

REHMAN, M.S.; RASHID, N.; ASHFAQ, M.; SAIF, A.; AHMAD, J.H. Global risk of pharmaceutical contamination from highly populated developing countries. *Chemosphere*. Elsevier. 2015.

RICHARD, M.G. Recent Changes in the Prevalence and Causes of Bulking Filamentous Bacteria in Pulp and Papermill Activated Sludge Systems. *Environmental Conference Proceedings*. 1997.

ROCHA, A.C.L. Principais processos de tratamento de efluentes da produção de antibióticos e seu potencial reuso na indústria farmacêutica. Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública da Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca. Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro. 2018.

ROWE, G.; WRIGHT, G. The Delphi technique as a forecasting tool: Issues and analysis. *International Journal of Forecasting*. 353-375. 1999.

SALGADO, T.M.V.; ALCANTARA, L.; CARVALHO, M.S.M. APPCC: Uma ferramenta da gestão da segurança de alimentos. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. *Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente*. V.1, n7. 2020. Disponível em: <https://revistascientificas.ifrj.edu.br/revista/index.php/alimentos/article/view/1636>; Acesso em: 23. Setembro. 2022

SANGION, A.; GRAMATICA, P. Hazard of pharmaceuticals for aquatic environment: Prioritization by structural approaches and prediction of ecotoxicity. *Environment International*. Elsevier. 2016.

SCHWAIGER, J.; FERLING, H.; MALLOW, U.; WINTERNMAYER, H.; NEGELE, R.D. Toxic effects of the non-steroidal anti-inflammatory drug diclofenac: part I. Histopathological alterations and bioaccumulation in rainbow trout. *Aquatic Toxicology*. 2004.

SHAPIRO, S. S.; M. B. WILK. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika Trust, London*, v. 52, p. 591–609. 1965.

SHI, X.; LEONG, K.Y.; Ng, H.Y. Anaerobic treatment of pharmaceutical wastewater: A critical review. *Bioresource Technology* .245, 1238–1244. 2017,

SHINTA, F.R.; KAMANINGROEM, N; MARDYANTO, M.A. Risk Management of Wastewater Treatment in the Wastewater Treatment Plant of PT. X. IPTEK, Journal of Proceeding. The 1 International Conference on Business and Management of Technolog, 2019.

SILVANITA.;KHAMIDI, M.F.; JOHN, K.V. Critical Review of a Risk Assessment Method and its applications. International Conference on Financial Management and Economics. IPEDR. Vol11. Singapore. 2011.

SZAK, D.; BORYCZKO, K.; ZYWIEC, J.; PIEGDON, I.; CISSLAK, B.T.; RAK, J.R. Risk Assessment of Water Intakes in South Eastern Poland in Relation to the WHO Requirements for Water Safety Plans. Resources. MDPI. 2021.

SUN, Y.M.;OCKERMAN, H.W. A review of the needs and current applications of hazards analysis and critical control point (HCCP) system in foodservice areas. Elsevier. Food Control. 325-332. 2004.

SUHARDI,B.; LAKSONO, P.W.; AYU, A.; ROHANI, J.M.; CHING,T.S. Analysis of the potential hazard identification and risk assessment (HIRA) and hazard operability study (HAZOP): Case Study. International Journal of engineering e technology. 2018

SUSTARSIC, M. Wastewater Treatment: Understanding the Activated Sludge Process. Back to Basics. Safety in Ammonia Plants & Related Facilities Symposium. Alche. 2009.

TRÁVNÍČEK, P.; JUNGA, P.; KOTEK, L.; VITÉZ, T. Analysis of accidents at municipal wastewater treatment plants in Europe. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Elsevier.2021.

TRON, H.T.; THAN, N. H. Hazard Identification and Risk Assessment in Wastewater Treatment Plant of Di An City.Thu Dau Mot University – Journal of Science. p.115-128, 2021.

TUSER, I.; OULEHOVÁ, A. Risk Assessment and Sustainability of Wastewater Treatment Plant Operation. Sustainability. MDPI.2021.

WAGNER, M.; STRUBE, I. Risk management in wastewater treatment. Water Science & Technology. Vol 52. 2005.

VENKATASUBRAMANIAN, V.; ZHAO, J.; VISWANATHAN, S. Intelligent system for HAZOP analysis of complex process plants. Computers and Chemical Engineering. 2000.

VON SPERLING, M. Lodos Ativados. DESA-UFMG. Belo Horizonte: v. 4 2012.

WEF. Water Environment Federation. Industrial Wastewater Management, Treatment and Disposal. Third Edition. Manual of Practice.2008

WILKINSON, J.L.;BOXALL,A.B.A.;KLPIN,D.W. Pharmaceutical pollution of the world's rivers. Environmental Sciences. PNAS.V119. 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Sanitation Safety Planning. Manual for safe use and disposal of wastewater, greywater, and excreta. 2016.

WSTERHOFF,P.; YOON, Y.; SNYDER, S.; WERT, E. Fate of Endocrine-Disruptor, Pharmaceutical, and Personal Care Product Chemicals during Simulated Drinking Water Treatment Processes. Environmental Science & Technology. ACS Publications. 2005.

WU, C.; SPONGBERG, A.L.; WITTER, J.D., FANG, M.; CZAJKOWSKI, K.P., Uptake of pharmaceutical and personal care products by soybean plants from soils applied with biosolids and irrigated with contaminated water. Environmental Science & Technology. 2010.

YAKUBU, O.H.Pharmaceutical wastewater effluent—source of contaminants of emerging concern: phytotoxicity of metronidazole to soybean (*Glycine max*).Toxics .2017

YAN, F. XU, K. Methodology and case study of quantitative preliminary hazard analysis based on cloud model. Journal of Loss Prevention in The Process industries. Elsevier. 2019.

YAN, Q.; GAO,X.;HUANG, L.; GAN,X.M.; ZHANG, Y.X.; CHEN, Y.P.; PENG,X.Y.;GUO,J.S. Occurrence and fate of pharmaceutically active compounds in the largest municipal wastewater treatment plant in Southwest China: ,ass balance analysis and consumption back-calculated model. Chemosphere. 160-170.2014.

YAN, Z.; WANG,S.; MA, D.; LIU,B.; LIN, H.; LI, S. Meteorological Factors Affecting Pan Evaporation in the Haihe River Basin and China. Water. MDPI. February. 2019.

10. ANEXOS

10.1. ANEXO A – FLUXOGRAMA E NÓS DE ESTUDO

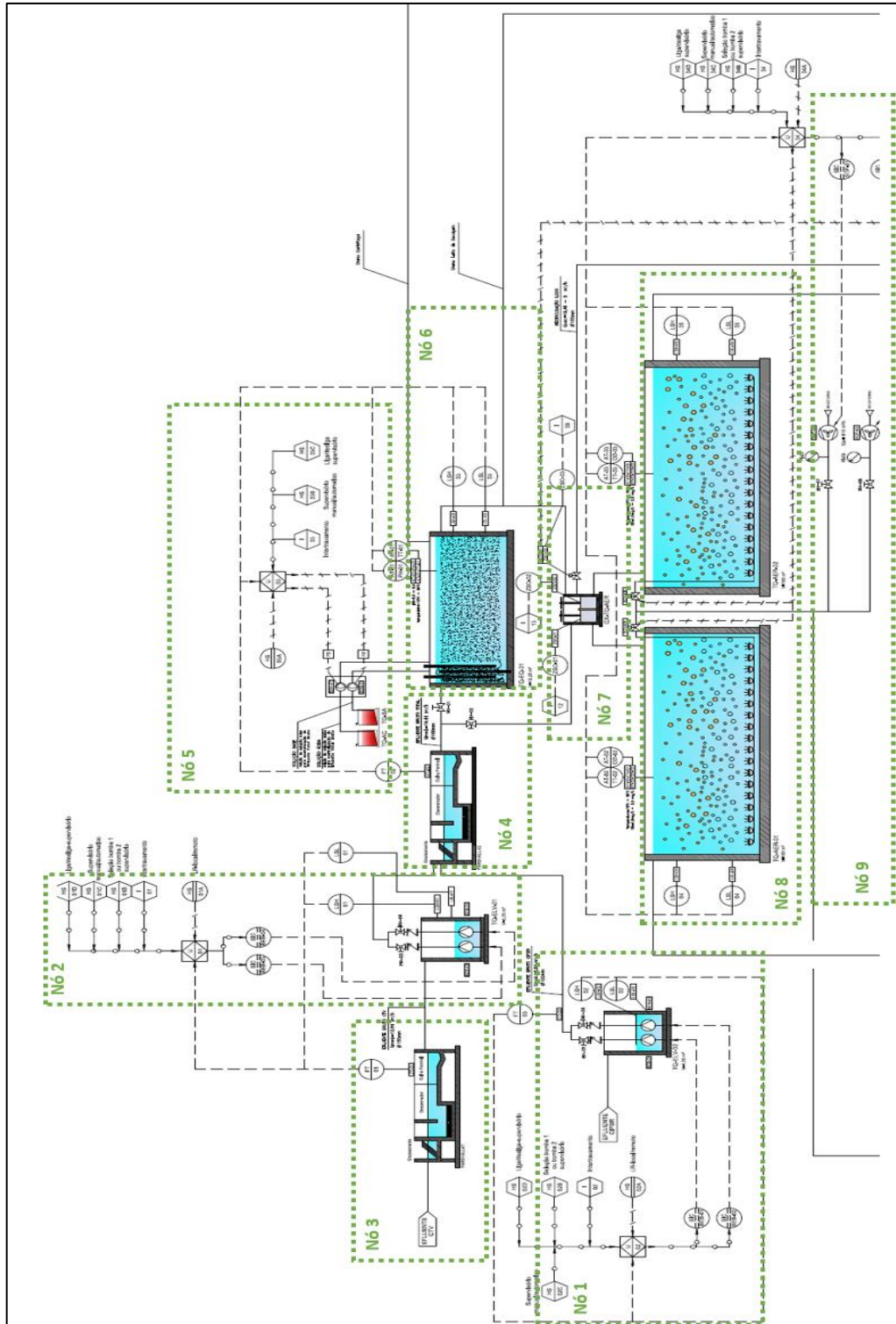


Figura 14 - Fluxograma de Processo da ETE com nós – Parte 1

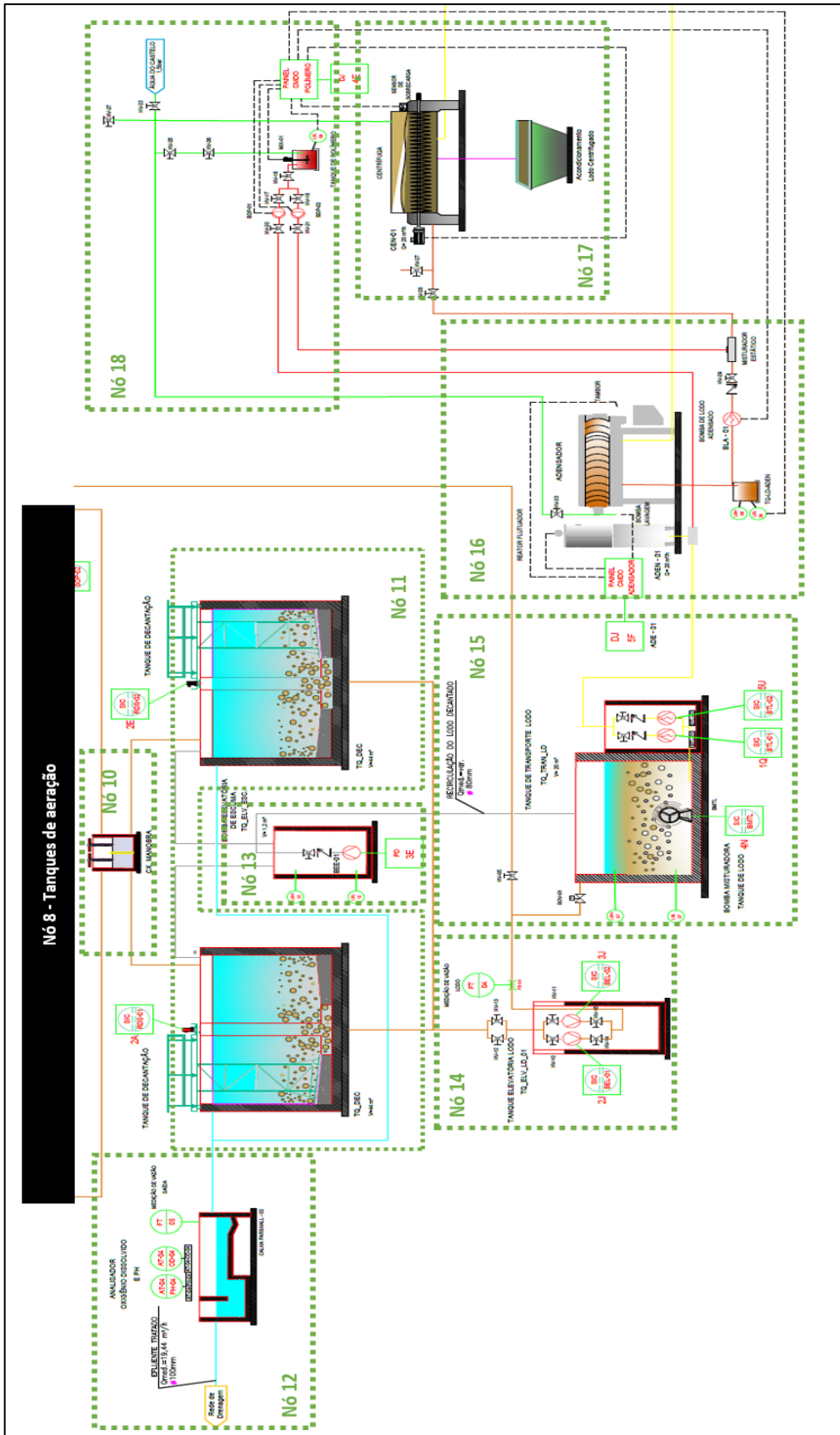


Figura 15 - Fluxograma de Processo da ETE com nós- Parte 2

10.2. ANEXO B – MODELO DE FORMULÁRIO APR E TCLE

Pesquisa: "ANÁLISE DE RISCOS EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA FARMACÊUTICA: uma abordagem de identificação de riscos em relação a qualificação de instrumentos"

Olá, sou Wallace Fernandes Tavares da Silva, aluno de mestrado profissional em Engenharia Ambiental da UFRJ e convido você a participar da pesquisa "ANÁLISE DE RISCOS EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA FARMACÊUTICA: uma abordagem de identificação de riscos em relação a qualificação de instrumentos" que trará benefícios para nossa instituição e para seu ambiente de trabalho. Caso você aceite participar da pesquisa, o questionário consiste de perguntas discursivas que pedirão sua avaliação a respeito da possibilidade de riscos que podem ocorrer no processo e que também podem oferecer risco ao meio ambiente e a saúde do colaborador envolvido na atividade.

Para melhor entendimento das perguntas que serão feitas, é importante a definição de alguns termos:

Risco: é a combinação da probabilidade de ocorrência de um evento com a severidade que este evento tem em causar danos (IEC, 2014).

Perigo: condição química ou física que tem o potencial de causar danos às pessoas, bens materiais e ao meio ambiente (Nolan, 1994).

Dano: Danos à saúde humana, meio ambiente, infraestrutura, incluindo os danos que podem ocorrer devido à perda de qualidade do produto ou disponibilidade (Adaptado de ICH Q9, 2005).

* Indica uma pergunta obrigatória.

1. E-mail *

2. Caso tenha interesse em participar, por favor, leia e consinta com o Termo de Consentimento Livre Esclarecido a seguir. *

Marcar apenas uma oval.

- Abrir o "Termo de Consentimento Livre e Esclarecido".
Pular para a seção 2 (Termo de Consentimento Livre Esclarecido)
- Não tenho interesse em participar.

Termo de Consentimento Livre Esclarecido

Esclarecimento
TERMO
DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

"Prezado participante, você está sendo convidado(a) a participar da pesquisa "ANÁLISE DE RISCOS EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA FARMACÊUTICA: uma abordagem de identificação de riscos em relação a qualificação de instrumentos", por exercer atividades no local de estudo deste trabalho. A pesquisa é desenvolvida por Wallace Fernandes Tavares da Silva, discente de Mestrado Profissional do Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da UFRJ, sob orientação principal da Professora Dra. Adriana Sotero Martins, pesquisadora da Fundação Oswaldo Cruz e da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

- **Objetivo central da pesquisa:** realizar um estudo de caso em uma estação de tratamento de efluentes de indústria farmacêutica visando utilizar uma ferramenta de análise de riscos como auxílio para priorização de qualificação de instrumentos e equipamentos baseado em riscos.
- **Do contato para dúvidas:** Caso necessite de informações adicionais sobre a pesquisa ou sanar dúvidas, entre em contato pelo e-mail do pesquisador wallace.tavares@qoil.ufrj.br ou pelo telefone (021)976228225.
- **Do convite:** O convite a sua participação se deve ao fato de exercer atividades laborais no local do estudo em questão. Sua participação é voluntária, isto é, ela não é obrigatória e você tem plena autonomia para decidir se quer ou não participar, bem como manifestar encerramento de sua participação pelo e-mail do pesquisador contido neste Termo. Você não será penalizado de nenhuma maneira caso decida não consentir sua participação, ou desistir da mesma. Contudo, vale ressaltar que sua participação é muito importante para execução deste trabalho. Caso decida participar, sua participação consistirá em responder perguntas em forma de questionário on-line em várias rodadas, sendo o conteúdo abordado no questionário informado previamente. O objetivo das rodadas é atingir o consenso das opiniões acerca de possíveis causas e consequências associadas a um determinado desvio de parâmetro da estação de tratamento de efluentes. O tempo estimado para cada questionário é em torno de 15 minutos.
- **Confidencialidade e privacidade:** Os questionários serão respondidos de forma anônima e são garantidas a confidencialidade e privacidade de suas informações, que serão armazenadas em local seguro e qualquer dado que possa identificá-lo será omitido na divulgação dos resultados da pesquisa. Além disso, os questionários serão enviados individualmente, objetivando sua privacidade e eliminando a visualização de dados por terceiros. A qualquer momento, você poderá solicitar informações de sua participação e/ou sobre a pesquisa, com o pesquisador responsável, utilizando os contatos informados neste Termo. Os questionários serão transcritos e armazenados digitalmente e somente o pesquisador e sua orientadora terão acesso a este material, que será mantido em arquivo por pelo menos 5 anos, conforme Resolução 466/12. É garantido o direito a indenização diante de eventuais danos decorrentes da pesquisa.

- **Benefícios relacionados à colaboração nesta pesquisa:** estabelecimento de uma ferramenta que auxiliará no âmbito profissional para qualificação de instrumentos e equipamentos baseado em riscos através da opinião e avaliação de colaboradores que realizam atividades e possuem experiência no local de estudo. Paralelamente, o estudo permitirá estabelecer recomendações para melhoria da segurança dos colaboradores associada às suas atividades, além de permitir recomendações que possibilitem mitigar riscos ao meio ambiente e saúde pública.
- **Riscos:** O risco é a quebra da confidencialidade, mas isso será evitado pois o questionário é anônimo, desta forma você não será identificado. É garantido o direito a indenização diante de eventuais danos decorrentes da pesquisa. Contamos com as regras e normas de sigilo praticadas pelo Google, (<https://policies.google.com/privacy>) no uso do Google Forms. No entanto, há o risco inerente a qualquer acesso à internet.
- **Os resultados:** os resultados serão apresentados aos participantes em forma de apresentação, relatórios individuais, publicação de artigos e a publicação da dissertação de mestrado. A devolução do questionário respondido on-line caracteriza o aceite de sua participação em participar do trabalho. Caso deseje, imprima este documento para eventuais consultas de contato do pesquisador e CEP. Se você tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética da pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho/HUCFF/UFRJ, R. Prof. Rodolpho Paulo Rocco, n.º 255, Cidade Universitária/Ilha do Fundão, 7º andar, Ala E - pelo telefone 3938-2480, de segunda a sexta-feira, das 8 às 16 horas, ou por meio do e-mail: cep@hucff.ufrj.br

Termo de Consentimento Livre Esclarecido

Eu li o esclarecimento acima, compreendo os riscos e benefícios associados ao estudo e entendo que sou livre para deixar de participar da pesquisa a qualquer momento. Sei que o envio do formulário respondido caracteriza o aceite ao convite em participar deste trabalho.

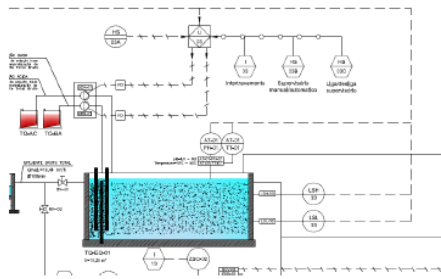
3. Você aceita (consente) em participar da pesquisa ? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim, eu aceito em participar da pesquisa. Pular para a pergunta 4
- Não aceito.

Termo de Consentimento Livre Esclarecido

TANQUE DE EQUALIZAÇÃO e TANQUE ÁCIDO-BASE



13. 3.1) Na sua avaliação, quais são os principais **RISCOS** e/ou **PERIGOS** de **PROCESSO** para esta etapa?
 Ex: risco de transbordamento, risco da bomba falhar, risco do efluente não ser tratado, perigo de exposição a substâncias e etc

14. 3.2) Na sua avaliação, quais são os principais **RISCOS** e/ou **DANOS AMBIENTAIS** para esta etapa?
 Ex: risco de poluir o ar, risco de poluir o solo, dano a qualidade da água e etc

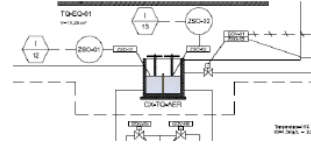
15. 3.3) Na sua avaliação, quais são os principais **RISCOS REGULATÓRIOS** para esta etapa?
 Ex: risco de multa, risco de não conformidade etc

16. 3.4) Na sua avaliação, quais são os principais **PERIGOS** e/ou **RISCO** para o **OPERADOR** nesta etapa?
 Ex: perigo de queimadura, perigo de contaminação, risco de afogamento e etc

4) As perguntas a seguir serão a respeito do TANQUE DE DISTRIBUIÇÃO

Responda as perguntas de acordo com sua experiência na área. Caso não tenha nenhum risco ou perigo na sua avaliação, responda "NA"

TANQUE DE DISTRIBUIÇÃO



17. 4.1) Na sua avaliação, quais são os principais **RISCOS** e/ou **PERIGOS** de **PROCESSO** para esta etapa?
 Ex: risco de transbordamento, risco da bomba falhar, risco do efluente não ser tratado, perigo de exposição a substâncias e etc

18. 4.2) Na sua avaliação, quais são os principais **RISCOS** e/ou **DANOS AMBIENTAIS** para esta etapa?
 Ex: risco de poluir o ar, risco de poluir o solo, dano a qualidade da água e etc

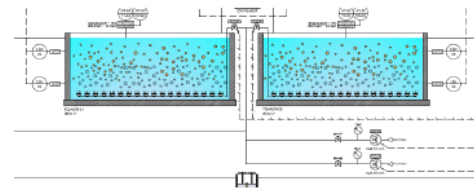
19. 4.3) Na sua avaliação, quais são os principais **RISCOS REGULATÓRIOS** para esta etapa?
 Ex: risco de multa, risco de não conformidade etc

20. 4.4) Na sua avaliação, quais são os principais **PERIGOS** e/ou **RISCO** para o **OPERADOR** nesta etapa?
 Ex: perigo de queimadura, perigo de contaminação, risco de afogamento e etc

5) As perguntas a seguir serão a respeito do TANQUE DE AERAÇÃO e SOPRADORES

Responda as perguntas de acordo com sua experiência na área. Caso não tenha nenhum risco ou perigo na sua avaliação, responda "NA"

TANQUES DE AERAÇÃO



21. 5.1) Na sua avaliação, quais são os principais RISCOS e/ou PERIGOS de **PROCESSO** para esta etapa?
Ex: risco de transbordamento, risco da bomba falhar, risco do efluente não ser tratado, perigo de exposição a substâncias e etc

22. 5.2) Na sua avaliação, quais são os principais RISCOS e/ou DANOS **AMBIENTAIS** para esta etapa?
Ex: risco de poluir o ar, risco de poluir o solo, dano a qualidade da água e etc

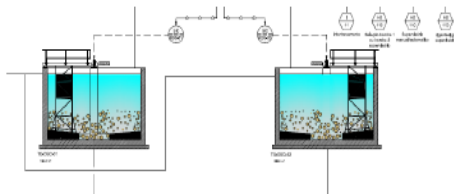
23. 5.3) Na sua avaliação, quais são os principais RISCOS **REGULATÓRIOS** para esta etapa?
Ex: risco de multa, risco de não conformidade etc

24. 5.4) Na sua avaliação, quais são os principais PERIGOS e/ou RISCO para o **OPERADOR** nesta etapa?
Ex: perigo de queimadura, perigo de contaminação, risco de afogamento e etc

6) As perguntas a seguir serão a respeito dos DECANTADORES CIRCULARES

Responda as perguntas de acordo com sua experiência na área. Caso não tenha nenhum risco ou perigo na sua avaliação, responda "NA"

DECANTADORES CIRCULARES



25. 6.1) Na sua avaliação, quais são os principais RISCOS e/ou PERIGOS de **PROCESSO** para esta etapa?
Ex: risco de transbordamento, risco da bomba falhar, risco do efluente não ser tratado, perigo de exposição a substâncias e etc

26. 6.2) Na sua avaliação, quais são os principais RISCOS e/ou DANOS **AMBIENTAIS** para esta etapa?
Ex: risco de poluir o ar, risco de poluir o solo, dano a qualidade da água e etc

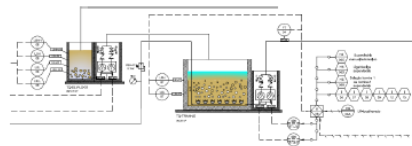
27. 6.3) Na sua avaliação, quais são os principais RISCOS **REGULATÓRIOS** para esta etapa?
Ex: risco de multa, risco de não conformidade etc

28. 6.4) Na sua avaliação, quais são os principais PERIGOS e/ou RISCO para o **OPERADOR** nesta etapa?
Ex: perigo de queimadura, perigo de contaminação, risco de afogamento e etc

7) As perguntas a seguir serão a respeito do TANQUE DE LODO

Responda as perguntas de acordo com sua experiência na área. Caso não tenha nenhum risco ou perigo na sua avaliação, responda "NA"

TANQUE DE LODO



29. 7.1) Na sua avaliação, quais são os principais RISCOS e/ou PERIGOS de **PROCESSO** para esta etapa?
Ex: risco de transbordamento, risco da bomba falhar, risco do efluente não ser tratado, perigo de exposição a substâncias e etc

30. 7.2) Na sua avaliação, quais são os principais RISCOS e/ou DANOS **AMBIENTAIS** para esta etapa?
Ex: risco de poluir o ar, risco de poluir o solo, dano a qualidade da água e etc

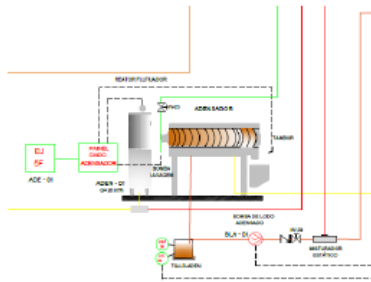
31. 7.3) Na sua avaliação, quais são os principais RISCOS **REGULATÓRIOS** para esta etapa?
Ex: risco de multa, risco de não conformidade etc

32. 7.4) Na sua avaliação, quais são os principais PERIGOS e/ou RISCO para o **OPERADOR** nesta etapa?
Ex: perigo de queimadura, perigo de contaminação, risco de afogamento e etc

8) As perguntas a seguir serão a respeito do ADENSADOR TUBULAR

Responda as perguntas de acordo com sua experiência na área. Caso não tenha nenhum risco ou perigo na sua avaliação, responda "NA"

ADENSADOR TUBULAR



33. 8.1) Na sua avaliação, quais são os principais **RISCOS** e/ou **PERIGOS de PROCESSO** para esta etapa?
 Ex: risco de transbordamento, risco da bomba falhar, risco do efluente não ser tratado, perigo de exposição a substâncias e etc

34. 8.2) Na sua avaliação, quais são os principais **RISCOS** e/ou **DANOS AMBIENTAIS** para esta etapa?
 Ex: risco de poluir o ar, risco de poluir o solo, dano a qualidade da água e etc

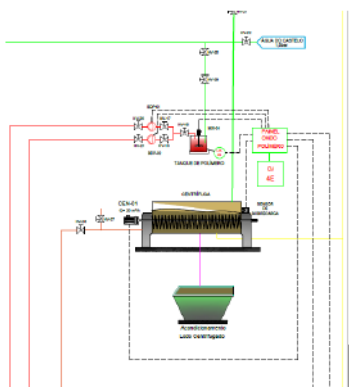
35. 8.3) Na sua avaliação, quais são os principais **RISCOS REGULATÓRIOS** para esta etapa?
 Ex: risco de multa, risco de não conformidade etc

36. 8.4) Na sua avaliação, quais são os principais **PERIGOS** e/ou **RISCO** para o **OPERADOR** nesta etapa?
 Ex: perigo de queimadura, perigo de contaminação, risco de afogamento e etc

9) As perguntas a seguir serão a respeito da CENTRÍFUGA

Responda as perguntas de acordo com sua experiência na área. Caso não tenha nenhum risco ou perigo na sua avaliação, responda "NA"

CENTRÍFUGA



37. 9.1) Na sua avaliação, quais são os principais **RISCOS** e/ou **PERIGOS de PROCESSO** para esta etapa?
 Ex: risco de transbordamento, risco da bomba falhar, risco do efluente não ser tratado, perigo de exposição a substâncias e etc

38. 9.2) Na sua avaliação, quais são os principais **RISCOS** e/ou **DANOS AMBIENTAIS** para esta etapa?
 Ex: risco de poluir o ar, risco de poluir o solo, dano a qualidade da água e etc

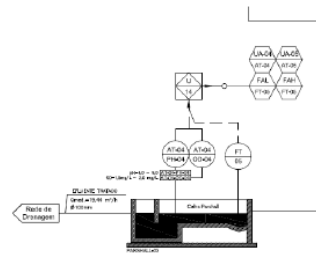
39. 9.3) Na sua avaliação, quais são os principais **RISCOS REGULATÓRIOS** para esta etapa?
 Ex: risco de multa, risco de não conformidade etc

40. 9.4) Na sua avaliação, quais são os principais **PERIGOS** e/ou **RISCO** para o **OPERADOR** nesta etapa?
 Ex: perigo de queimadura, perigo de contaminação, risco de afogamento e etc

10) As perguntas a seguir serão a respeito da CALHA PARSHAL DE DRENAGEM

Responda as perguntas de acordo com sua experiência na área. Caso não tenha nenhum risco ou perigo na sua avaliação, responda "NA"

CALHA DE DRENAGEM



41. 10.1) Na sua avaliação, quais são os principais **RISCOS** e/ou **PERIGOS de PROCESSO** para esta etapa?
 Ex: risco de transbordamento, risco da bomba falhar, risco do efluente não ser tratado, perigo de exposição a substâncias e etc

42. 10.2) Na sua avaliação, quais são os principais **RISCOS** e/ou **DANOS AMBIENTAIS** para esta etapa?
 Ex: risco de poluir o ar, risco de poluir o solo, dano a qualidade da água e etc

43. 10.3) Na sua avaliação, quais são os principais **RISCOS REGULATÓRIOS** para esta etapa?
 Ex: risco de multa, risco de não conformidade etc

44. 10.4) Na sua avaliação, quais são os principais **PERIGOS** e/ou **RISCO** para o **OPERADOR** nesta etapa?
 Ex: perigo de queimadura, perigo de contaminação, risco de afogamento e etc

10.3. ANEXO C – PLANILHA HAZOP

Identificação dos riscos		Análise dos riscos - Possíveis estados da falha				Avaliação dos riscos										
ID	Parâmetro	Palavra guia	Descrição	Causas	Consequências		Medidas de Controle e Monitoramento	Sondas dos Equipamentos	Risco	Score	Critério	Ações/Recomendações				
					Pessoal	Ambiental							Processo/Produto	Regulatório	(0)	(S)
<p>M6: E-10-ELV-02 - Tanque elevatória</p> <p>Descrição de etapa: Tanque elevatória de efluente industrial, responsável pelo recebimento do efluente industrial e transferência</p> <p>Instrumentos e equipamentos envolvidos: LSH - 02 - Sensor de nível de água do tanque de elevatória LSH - 02 - Sensor de nível de água do tanque de elevatória FT - 03 - Transmissor de vazão de efluente BEB-01 - Bomba centrífuga submersível BEB-02 - Bomba centrífuga submersível SIC - BEB-01 - Indicador controlador de velocidade da bomba BEB-01 HV-05 - Válvula manual com retenção de fluxo reversa a jusante da bomba BEB-01 HV-06 - Válvula manual com retenção de fluxo reversa a jusante da bomba BEB-02</p>																
11	Nível	Maior	Nível de efluente acima do especificado	Falha dos bombas BEB-01 e BEB-02 Falha no sensor de nível de água LSH-02 Erro de sinal das sondas Aumento do volume de efluente a ser tratado Válvula HV-05, HV-06 fechadas Obstrução da tubulação de saída das bombas BEB-01 e BEB-02 Falha na configuração de bomba	Contaminação do solo Comunicação de operador em um contato com o efluente	Muito não conformidade	Sensor de nível de água LSH-02 Detecção manual Alarma nível de água Controle de nível	Sensor de nível de água LSH-02	Positivo	Baixa	2	3	2	Baixo	Verificação da validade de calibração dos instrumentos Elaboração e atualização de procedimentos operacionais Instalação de instrumento de detecção e controle Elaboração de tratamentos periódicos Emissão de relatório Atualização de EPI Periodicidade de manutenção preventiva	
12	Nível	Maior	Nível de efluente abaixo do especificado	Falha no sensor de nível de água LSH-02 Baixo volume de efluente a ser tratado Falha dos bombas BEB-01 e BEB-02 Obstrução da tubulação de entrada do tanque Vazamento no tanque de elevação	MA	MA	Sensor de nível de água LSH-02 Detecção manual Alarma de baixo	Sensor de nível de água LSH-02	Improvável	Baixa	2	2	3	1333	Baixo	Verificação da validade de calibração dos instrumentos Periodicidade de manutenção preventiva Elaboração e atualização de procedimentos operacionais Instalação de instrumento de detecção e controle Elaboração de tratamentos periódicos
13	Nível	Maior	Com nível na elevatória Sem nível na elevatória	Obstrução da tubulação de entrada do tanque Falha no sensor de nível de água LSH-02 Fuga de volume de efluente a ser tratado Tanque de elevação com ressecamento Falha das bombas BEB-01 e BEB-02	MA	MA	Sensor de nível de água LSH-02 Detecção manual Controle de nível Alarma de baixo	Sensor de nível de água LSH-02	Improvável	Baixa	2	2	2	2	Baixo	Verificação da validade de calibração dos instrumentos Periodicidade de manutenção preventiva dos equipamentos Instalação de instrumento de detecção de falha na bomba Elaboração e atualização de procedimentos operacionais Elaboração de tratamentos periódicos
14	Vazão	Maior	Vazão de efluente acima do especificado na entrada do tanque	Erro de efluente de controle de velocidade fora do especificado Aumento do volume de produção dos processos	MA	Muito não conformidade	Sensor de nível de água LSH-02 Controle de nível Detecção manual Alarma nível de água	Sensor de nível de água LSH-02	Positivo	Alta	4	3	4	4	Baixo	Instalação para evitar derivação de efluente no vaso Instalação de um medidor de vazão na saída do tanque Manutenção periódica dos equipamentos e instrumentos

Figura 16 - Layout da planilha utilizada de HAZOP e Matriz de Risco

10.4. ANEXO D – MODELO DE QUESTIONÁRIO

Análise de Risco - Sopradores

Pesquisa: "ANÁLISE DE RISCOS EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA FARMACÉUTICA: uma abordagem de identificação de riscos em relação a qualificação de instrumentos"

Olá, sou Wallace Fernandes Tavares da Silva, aluno de mestrado profissional em Engenharia Ambiental da UFRJ e convido você a participar da pesquisa "ANÁLISE DE RISCOS EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA FARMACÉUTICA: uma abordagem de identificação de riscos em relação a qualificação de instrumentos" que trará benefícios para nossa instituição e para seu ambiente trabalho.

Caso você aceite participar da pesquisa, o questionário consiste de perguntas múltipla escolha que pedirão sua opinião a respeito de riscos que podem ocorrer no processo e que serão classificadas da seguinte forma:

- probabilidade de ocorrência (através de uma escala de 1 a 5) de um evento;
- da sua severidade (através de uma escala de 1 a 5);
- medidas de controle e monitoramento existentes (através de uma escala de 1 a 5) e;
- recomendações para se evitar o risco.

A seguir tem um exemplo de pergunta:

Exemplo: Considerando o desvio de "Muito volume" de fluido na etapa de "Equalização", qual seria a probabilidade de ocorrência deste evento, na sua opinião ?

- () 1- Raro
- () 2- Improvável
- () 3- Possível
- () 4- Provável
- () 5- Certo de ocorrer

* Indica uma pergunta obrigatória.

1. E-mail *

2. Caso tenha interesse em participar, por favor, leia e consinta com o Termo de Consentimento Livre Esclarecido a seguir. *

Marcar apenas uma oval.

- Abrir o "Termo de Consentimento Livre e Esclarecido".
Pular para a seção 2 (Termo de Consentimento Livre Esclarecido)
- Não tenho interesse em participar.

Termo de Consentimento Livre Esclarecido

Esclarecimento

TERMO

DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

"Prezado participante, você está sendo convidado(a) a participar da pesquisa "ANÁLISE DE RISCOS EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA FARMACÉUTICA: uma abordagem de identificação de riscos em relação a qualificação de instrumentos", por exercer atividades no local de estudo deste trabalho. A pesquisa é desenvolvida por Wallace Fernandes Tavares da Silva, discente de Mestrado Profissional do Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da UFRJ, sob orientação principal da Professora Dra. Adriana Sotero Martins, pesquisadora da Fundação Oswaldo Cruz e da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

- **Objetivo central da pesquisa:** realizar um estudo de caso em uma estação de tratamento de efluentes de indústria farmacêutica visando utilizar uma ferramenta de análise de riscos como auxílio para priorização de qualificação de instrumentos e equipamentos baseado em riscos.
- **Do contato para dúvidas:** Caso necessite de informações adicionais sobre a pesquisa ou sanar dúvidas, entre em contato pelo e-mail do pesquisador wallace.tavares@poc3.ufrj.br ou pelo telefone (021)976228225.
- **Do convite:** O convite a sua participação se deve ao fato de exercer atividades laborais no local do estudo em questão. Sua participação é voluntária, isto é, ela não é obrigatória e você tem plena autonomia para decidir se quer ou não participar, bem como manifestar encerramento de sua participação pelo e-mail do pesquisador contido neste Termo. Você não será penalizado de nenhuma maneira caso decida não consentir sua participação, ou desistir da mesma. Contudo, vale ressaltar que sua participação é muito importante para execução deste trabalho. Caso decida participar, sua participação consistirá em responder perguntas em forma de questionário on-line em várias rodadas, sendo o conteúdo abordado no questionário informado previamente. O objetivo das rodadas é atingir o consenso das opiniões acerca de possíveis causas e consequências associadas a um determinado desvio de parâmetro da estação de tratamento de efluentes. O tempo estimado para cada questionário é em torno de 15 minutos.
- **Confidencialidade e privacidade:** Os questionários serão respondidos de forma anônima e são garantidas a confidencialidade e privacidade de suas informações, que serão armazenadas em local seguro e qualquer dado que possa identificá-lo será omitido na divulgação dos resultados da pesquisa. Além disso, os questionários serão enviados individualmente, objetivando sua privacidade e eliminando a visualização de dados por terceiros. A qualquer momento, você poderá solicitar informações de sua participação e/ou sobre a pesquisa, com o pesquisador responsável, utilizando os contatos informados neste Termo. Os questionários serão transcritos e armazenados digitalmente e somente o pesquisador e sua orientadora terão acesso a este material, que será mantido em arquivo por pelo menos 5 anos, conforme Resolução 466/12. É garantido o direito a indenização diante de eventuais danos decorrentes da pesquisa.

- **Benefícios relacionados à colaboração nesta pesquisa:** estabelecimento de uma ferramenta que auxiliará no âmbito profissional para qualificação de instrumentos e equipamentos baseado em riscos através da opinião e avaliação de colaboradores que realizam atividades e possuem experiência no local de estudo. Paralelamente, o estudo permitirá estabelecer recomendações para melhoria da segurança dos colaboradores associada a suas atividades, além de permitir recomendações que possibilitem mitigar riscos ao meio ambiente e saúde pública.
- **Riscos:** O risco é a quebra da confidencialidade, mas isso será evitado pois o questionário é anônimo, desta forma você não será identificado. É garantido o direito a indenização diante de eventuais danos decorrentes da pesquisa. Contamos com as regras e normas de sigilo praticadas pelo Google, (<https://policies.google.com/privacy>) no uso do Google Forms. No entanto, há o risco inerente a qualquer acesso à internet.
- **Os resultados:** os resultados serão apresentados aos participantes em forma de apresentação, relatórios individuais, publicação de artigos e a publicação da dissertação de mestrado. A devolução do questionário respondido on-line caracteriza o aceite de sua participação em participar do trabalho. Caso deseje, imprima este documento para eventuais consultas de contato do pesquisador e CEP. Se você tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética da pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho/HUCFF/UFRJ, R. Prof. Rodolpho Paulo Rocco, n.º 255, Cidade Universitária/Ilha do Fundão, 7ª andar, Ala E - pelo telefone 3938-2480, de segunda a sexta-feira, das 8 às 16 horas, ou por meio do e-mail: cep@hucff.ufrj.br

Termo de Consentimento Livre Esclarecido

Eu li o esclarecimento acima, compreendo os riscos e benefícios associados ao estudo e entendo que sou livre para deixar de participar da pesquisa a qualquer momento. Sei que o envio do formulário respondido caracteriza o aceite ao convite em participar deste trabalho.

3. Você aceita (consente) em participar da pesquisa ? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim, eu aceito em participar da pesquisa. Pular para a pergunta 4
- Não aceito.

Termo de Consentimento Livre Esclarecido

4. Qual a sua função ou cargo? *

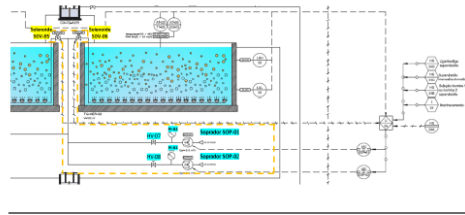
Questionário

O questionário a seguir avaliará os SOPRADORES

Principais equipamentos e instrumentos dos SOPRADORES

SOV-06	VÁLVULA SOLENÓIDE ABERTURA AR DO SOPRADOR TQ2
SIC-SOP-01	CONTROLADOR DE VAZÃO DO SOPRADOR SOP-01
SIC-SOP-02	CONTROLADOR DE VAZÃO DO SOPRADOR SOP-02
SOV-05	VÁLVULA SOLENÓIDE ABERTURA AR DO SOPRADOR TQ1
PI-02	MANÔMETRO DE PRESSÃO
PI-03	MANÔMETRO DE PRESSÃO
HV-07	VÁLVULA MANUAL A JUSANTE DO SOP-01
HV-08	VÁLVULA MANUAL A JUSANTE DO SOP-02

ENVOLTÓRIA DOS SOPRADORES



5. 1) Se nesta etapa ocorrer um desvio de "MAIS PRESSÃO" de AR na tubulação APÓS OS SOPRADORES na sua avaliação, quais seriam as CAUSAS mais prováveis desse evento? (Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Válvula manuais HV-07 e HV-08 fechadas
- Pressão ajustada nos sopradores acima do especificado
- Válvula solenóides SOV-06 e SOV-05 fechadas
- Tubulação obstruída
- Prefiro não responder
- Outro: _____

6. 1.1) Baseado na sua resposta anterior, qual seria a PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA deste evento, na sua avaliação? *

Esala	Descrição
1- Raro	Não irá ocorrer. Nenhuma ocorrência anterior. Se ocorrer será em circunstâncias excepcionais.
2- Improvável	Pode ocorrer em algum momento. Chance de ocorrência menor ou igual a 25% e conhecimento de poucas ocorrências anteriores.
3- Possível	Pode ocorrer em algum momento. Chance de ocorrência entre 25% e 50%, reportado em auditorias e de conhecimento de ocorrências anteriores.
4- Provável	Provavelmente vai ocorrer na maioria das circunstâncias. Chance de ocorrência de 50% a 75%.
5- Certo de Ocorrer	Vai ocorrer em todas as circunstâncias, com chance de mais de 75%. Conhecimento de ocorrências anteriores.

Marcar apenas uma oval.

- 1 - Raro
- 2 - Improvável
- 3 - Possível
- 4 - Provável
- 5 - Certo de ocorrer

7. 1.2) Na sua opinião, quais seriam as possíveis CONSEQUÊNCIAS caso ocorresse o desvio de "MAIS PRESSÃO" de AR na tubulação APÓS OS SOPRADORES ? (Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Rompimento da tubulação
- Danificação das válvulas manuais
- Danificação das válvulas solenóides
- Prefiro não responder
- Outro: _____

8. 1.3) Baseado na sua resposta anterior, qual seria na sua avaliação, a SEVERIDADE deste evento? *

Severidade	Futuro	Descrição		
		Possível	Estrecha	Ambiental
1 - Nenhuma	Sem danos a saúde dos colaboradores. Sem afastamento.	Sem danos aos equipamentos e estruturas.	Sem impactos negativos ao meio ambiente.	Sem impactos a qualidade do efluente.
2 - Baixa	Pouco impacto aos colaboradores, laceração de afastamento.	Danos poucos significativos a estruturas. Apenas danos aos equipamentos.	Pouco danos ao meio ambiente.	Impactos insignificantes a qualidade do efluente.
3 - Média	Danos a saúde dos colaboradores, com tratamento requerido por mais de 20 dias.	Danos moderados a estruturas e equipamentos.	Dano moderado ao meio ambiente.	Possível desconhecimento de engarrafos respiratórios, direções paralização de planta.
4 - Alta	Danos significativos aos colaboradores (invalidez ou incapacidade de longo prazo).	Dano estrutural afetando área de apoio.	Dano significativo ao meio ambiente.	Desconhecimento regulatório e efluente não tratado. Paralisação prolongada.
5 - Catastrófica	Morte de colaboradores e invalidez.	Dano estrutural e danos aos equipamentos.	Alto impacto ambiental.	Efluente não tratado. Paralisação de planta.

Marcar apenas uma oval.

- 1 - Nenhuma
- 2 - Baixa
- 3 - Média
- 4 - Alta
- 5 - Catastrófica

9. 1.4) Na sua opinião, quais são os elementos de DETECÇÃO ou MONITORAMENTO deste evento? (Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Manômetros de pressão PI-02 e PI-03
- Prefiro não responder
- Outro: _____

10. 1.5) Baseado em sua resposta anterior, na sua avaliação, qual o nível de DETECÇÃO deste evento? *

Esala	Descrição
1- Nenhuma	Sem detecção. Não existe nenhum procedimento ou dispositivo de detecção. Sem possibilidade de detecção visual.
2- Remota	Detecção remota. Detecção visual, manual e através de sensores analógicos.
3- Moderada	Detecção moderada. Presença de instrumentos de detecção.
4- Elevada	Detecção elevada. Presença de instrumentos de detecção e malhas de controle.
5- Alta	Será detectado automaticamente. Presença de alarme in loco e sala de controle, malhas de controle, intertravamento e instrumentos de detecção.

Marcar apenas uma oval.

- 1 - Sem detecção
- 2 - Detecção remota
- 3 - Detecção moderada
- 4 - Detecção elevada
- 5 - Será detectado automaticamente

11. 1.6) Dê recomendações para mitigar este risco. (Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Verificação da validade de calibração dos instrumentos de detecção
- Instalação de instrumento de detecção compartilhados com a sala de controle
- Prefiro não responder
- Outro: _____

12. 2) Se nesta etapa ocorrer um desvio de "MENOS PRESSÃO" de AR na tubulação APÓS OS SOPRADORES , na sua avaliação, quais seriam as CAUSAS mais prováveis desse evento?
(Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Tubulações com vazamento
- Válvulas manuais HV-07 e HV-08 com vazamento
- Pressão configurada fora do especificado
- Prefiro não responder
- Outro: _____

13. 2.1) Baseado na sua resposta anterior, qual seria a PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA deste evento, na sua avaliação?

Escala	Descrição
1- Raro	Não irá ocorrer. Nenhuma ocorrência anterior. Se ocorrer será em circunstâncias excepcionais.
2- Improvável	Pode ocorrer em algum momento. Chance de ocorrência menor ou igual a 25% e conhecimento de poucas ocorrências anteriores.
3- Possível	Pode ocorrer em algum momento. Chance de ocorrência entre 25% e 50%, reportado em auditorias e de conhecimento de ocorrências anteriores.
4- Provável	Provavelmente vai ocorrer na maioria das circunstâncias. Chance de ocorrência de 50% a 75%.
5- Certo de Ocorrer	Vai ocorrer em todas as circunstâncias, com chance de mais de 75%. Conhecimento de ocorrências anteriores.

Marcar apenas uma oval.

- 1 - Raro
- 2 - Improvável
- 3 - Possível
- 4 - Provável
- 5 - Certo de ocorrer

14. 2.2) Na sua opinião, quais seriam as possíveis CONSEQUÊNCIAS caso ocorresse o desvio de "MENOS PRESSÃO" de AR na tubulação APÓS OS SOPRADORES ?
(Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Pressão baixa para fornecimento de ar para o tanque de aerção
- Prefiro não responder
- Outro: _____

15. 2.3) Baseado na sua resposta anterior, qual seria na sua avaliação, a SEVERIDADE deste evento?

Escala	Descrição			
	Pessoal	Estrutural	Ambiental	Produto/Processo
1- Nenhuma	Sem danos à saúde dos colaboradores. Sem afastamento	Sem danos aos equipamentos e estrutura.	Sem impactos negativos ao meio ambiente	Sem impactos e qualidade do efluente.
2- Baixa	Pouco impacto aos colaboradores. Necessidade de afastamento	Danos poucos significativos à estrutura. Apenas danos aos equipamentos.	Pouco danos ao meio ambiente.	Impactos insignificantes à qualidade do efluente.
3- Média	Danos à saúde dos colaboradores, com tratamento requerido por mais de 10 dias.	Danos moderados à estrutura e equipamentos.	Dano moderado ao meio ambiente.	Possível descumprimento de exigências regulatórias. Breve paralisação de planta.
4- Alta	Danos significativos aos colaboradores (invalidez ou possibilidade de morte).	Dano estrutural significativo, afetando área ao redor.	Dano significativo ao meio ambiente.	Descumprimentos regulatórios e efluente não tratado. Paralisação prolongada.
5- Catastrófica	Morte de colaboradores e invalidez.	Dano estrutural e danos aos equipamentos.	Alto impacto ambiental	Efluente não é tratado. Paralisação de planta.

Marcar apenas uma oval.

- 1 - Nenhuma
- 2 - Baixa
- 3 - Média
- 4 - Alta
- 5 - Catastrófica

16. 2.4) Na sua opinião, quais são os elementos de DETECÇÃO ou MONITORAMENTO deste evento?
(Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Manômetros de pressão PI-02 e PI-03
- Prefiro não responder
- Outro: _____

17. 2.5) Baseado em sua resposta anterior, na sua avaliação, qual o nível de DETECÇÃO deste evento?

Escala	Descrição
1- Nenhuma	Sem detecção. Não existe nenhum procedimento ou dispositivo de detecção. Sem possibilidade de detecção visual.
2- Remota	Deteção remota. Detecção visual manual e através de testes analíticos.
3- Moderada	Deteção moderada. Presença de instrumentos de detecção.
4- Elevada	Deteção elevada. Presença de instrumentos de detecção e malhas de controle.
5- Alta	Será detectado automaticamente. Presença de alarme in loco e sala de controle, malhas de controle, intertravamento e instrumentos de detecção.

Marcar apenas uma oval.

- 1 - Sem detecção
- 2 - Detecção remota
- 3 - Detecção moderada
- 4 - Detecção elevada
- 5 - Será detectado automaticamente

18. 2.6) Dê recomendações para mitigar este risco.
(Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Instalação de instrumentos de detecção compartilhados com a sala de controle
- Verificação da validade de calibração dos instrumentos
- Manutenção e limpeza periódica das tubulações
- Prefiro não responder
- Outro: _____

19. 3) Se nesta etapa ocorrer um desvio de "SEM PRESSÃO" de AR na tubulação APÓS OS SOPRADORES durante a OPERAÇÃO , na sua avaliação, quais seriam as CAUSAS mais prováveis desse evento?
(Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Vazamento nas tubulações
- Sopradores desligados
- Sopradores danificados
- Obstrução da tubulação a montante dos sopradores
- Prefiro não responder
- Outro: _____

20. 3.1) Baseado na sua resposta anterior, qual seria a PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA deste evento, na sua avaliação?

Escala	Descrição
1- Raro	Não irá ocorrer. Nenhuma ocorrência anterior. Se ocorrer será em circunstâncias excepcionais.
2- Improvável	Pode ocorrer em algum momento. Chance de ocorrência menor ou igual a 25% e conhecimento de poucas ocorrências anteriores.
3- Possível	Pode ocorrer em algum momento. Chance de ocorrência entre 25% e 50%, reportado em auditorias e de conhecimento de ocorrências anteriores.
4- Provável	Provavelmente vai ocorrer na maioria das circunstâncias. Chance de ocorrência de 50% a 75%.
5- Certo de Ocorrer	Vai ocorrer em todas as circunstâncias, com chance de mais de 75%. Conhecimento de ocorrências anteriores.

Marcar apenas uma oval.

- 1 - Raro
- 2 - Improvável
- 3 - Possível
- 4 - Provável
- 5 - Certo de ocorrer

12. 2) Se nesta etapa ocorrer um desvio de "MENOS PRESSÃO" de AR na tubulação APÓS OS SOPRADORES , na sua avaliação, quais seriam as CAUSAS mais prováveis desse evento? (Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Tubulações com vazamento
- Válvulas manuais HV-07 e HV-08 com vazamento
- Pressão configurada fora do especificado
- Prefiro não responder
- Outro: _____

13. 2.1) Baseado na sua resposta anterior, qual seria a PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA deste evento, na sua avaliação?

Escala	Descrição
1- Raro	Não irá ocorrer. Nenhuma ocorrência anterior. Se ocorrer será em circunstâncias excepcionais.
2- Improvável	Pode ocorrer em algum momento. Chance de ocorrência menor ou igual a 25% e conhecimento de poucas ocorrências anteriores.
3- Possível	Pode ocorrer em algum momento. Chance de ocorrência entre 25% e 50%, reportado em auditorias e de conhecimento de ocorrências anteriores.
4- Provável	Provavelmente vai ocorrer na maioria das circunstâncias. Chance de ocorrência de 50% a 75%.
5- Certo de Ocorrer	Vai ocorrer em todas as circunstâncias, com chance de mais de 75%. Conhecimento de ocorrências anteriores.

Marcar apenas uma oval.

- 1 - Raro
- 2 - Improvável
- 3 - Possível
- 4 - Provável
- 5 - Certo de ocorrer

14. 2.2) Na sua opinião, quais seriam as possíveis CONSEQUÊNCIAS caso ocorresse o desvio de "MENOS PRESSÃO" de AR na tubulação APÓS OS SOPRADORES ? (Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Pressão baixa para fornecimento de ar para o tanque de aerção
- Prefiro não responder
- Outro: _____

15. 2.3) Baseado na sua resposta anterior, qual seria na sua avaliação, a SEVERIDADE deste evento?

Escala	Descrição			
	Pessoal	Estrutural	Ambiental	Produto/Processo
1- Nenhuma	Sem danos à saúde dos colaboradores. Sem afastamento	Sem danos aos equipamentos e estrutura.	Sem impactos negativos ao meio ambiente	Sem impactos e qualidade do efluente.
2- Baixa	Pouco impacto aos colaboradores. Necessidade de afastamento	Danos poucos significativos à estrutura. Apenas danos aos equipamentos.	Pouco danos ao meio ambiente.	Impactos insignificantes a qualidade do efluente.
3- Média	Danos a saúde dos colaboradores, com tratamento requerido por mais de 10 dias.	Danos moderados a estrutura e equipamentos.	Dano moderado ao meio ambiente.	Possível descumprimento de exigências regulatórias. Breve paralisação de planta.
4- Alta	Danos significativos aos colaboradores (invalidez ou possibilidade de morte).	Dano estrutural significativo, afetando área ao redor.	Dano significativo ao meio ambiente.	Descumprimentos regulatórios e efluente não tratado. Paralisação prolongada.
5- Catastrófica	Morte de colaboradores e invalidez.	Dano estrutural e danos aos equipamentos.	Alto impacto ambiental	Efluente não é tratado. Paralisação de planta.

Marcar apenas uma oval.

- 1 - Nenhuma
- 2 - Baixa
- 3 - Média
- 4 - Alta
- 5 - Catastrófica

16. 2.4) Na sua opinião, quais são os elementos de DETECÇÃO ou MONITORAMENTO deste evento? (Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Manômetros de pressão PI-02 e PI-03
- Prefiro não responder
- Outro: _____

17. 2.5) Baseado em sua resposta anterior, na sua avaliação, qual o nível de DETECÇÃO deste evento?

Escala	Descrição
1- Nenhuma	Sem detecção. Não existe nenhum procedimento ou dispositivo de detecção. Sem possibilidade de detecção visual.
2- Remota	Deteção remota. Deteção visual manual e através de testes analíticos.
3- Moderada	Deteção moderada. Presença de instrumentos de deteção.
4- Elevada	Deteção elevada. Presença de instrumentos de deteção e malhas de controle.
5- Alta	Será detectado automaticamente. Presença de alarme in loco e sala de controle, malhas de controle, intertravamento e instrumentos de deteção.

Marcar apenas uma oval.

- 1 - Sem detecção
- 2 - Deteção remota
- 3 - Deteção moderada
- 4 - Deteção elevada
- 5 - Será detectado automaticamente

18. 2.6) Dê recomendações para mitigar este risco. (Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Instalação de instrumentos de deteção compartilhados com a sala de controle
- Verificação da validade de calibração dos instrumentos
- Manutenção e limpeza periódica das tubulações
- Prefiro não responder
- Outro: _____

19. 3) Se nesta etapa ocorrer um desvio de "SEM PRESSÃO" de AR na tubulação APÓS OS SOPRADORES durante a OPERAÇÃO , na sua avaliação, quais seriam as CAUSAS mais prováveis desse evento? (Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Vazamento nas tubulações
- Sopradores desligados
- Sopradores danificados
- Obstrução da tubulação a montante dos sopradores
- Prefiro não responder
- Outro: _____

20. 3.1) Baseado na sua resposta anterior, qual seria a PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA deste evento, na sua avaliação?

Escala	Descrição
1- Raro	Não irá ocorrer. Nenhuma ocorrência anterior. Se ocorrer será em circunstâncias excepcionais.
2- Improvável	Pode ocorrer em algum momento. Chance de ocorrência menor ou igual a 25% e conhecimento de poucas ocorrências anteriores.
3- Possível	Pode ocorrer em algum momento. Chance de ocorrência entre 25% e 50%, reportado em auditorias e de conhecimento de ocorrências anteriores.
4- Provável	Provavelmente vai ocorrer na maioria das circunstâncias. Chance de ocorrência de 50% a 75%.
5- Certo de Ocorrer	Vai ocorrer em todas as circunstâncias, com chance de mais de 75%. Conhecimento de ocorrências anteriores.

Marcar apenas uma oval.

- 1 - Raro
- 2 - Improvável
- 3 - Possível
- 4 - Provável
- 5 - Certo de ocorrer

21. 3.2) Na sua opinião, quais seriam as possíveis CONSEQUÊNCIAS caso ocorresse o desvio de "SEM PRESSÃO" de AR na tubulação APÓS OS SOPRADORES ? (Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Sem fornecimento de ar para o tanque de aeração
- Nenhuma
- Prefiro não responder
- Outro: _____

22. 3.3) Baseado na sua resposta anterior, qual seria na sua avaliação, a SEVERIDADE deste evento?

SEVERIDADE	Escala	Descrição			
		Pessoal	Estrutural	Ambiental	Produto/Processo
1	Nenhuma	Sem danos à saúde dos colaboradores. Sem afastamento	Sem danos aos equipamentos e estrutura.	Sem impactos negativos ao meio ambiente.	Sem impactos e qualidade do efluente.
2	Baixa	Pouco impacto aos colaboradores. Necessidade de afastamento	Danos poucos significativos à estrutura. Apenas danos aos equipamentos.	Pouco danos ao meio ambiente.	Impactos insignificante a qualidade do efluente.
3	Média	Danos à saúde dos colaboradores, com tratamento requerido por mais de 10 dias.	Danos moderados a estrutura e equipamentos.	Dano moderado ao meio ambiente.	Possível descumprimento de exigências regulatórias. Breve paralisação da planta.
4	Alta	Danos significativos aos colaboradores (invalidez ou possibilidade de morte).	Dano estrutural significativo, afetando área ao redor.	Dano significativo ao meio ambiente.	Descumprimentos regulatórios e efluente não tratado. Paralisação prolongada.
5	Catastrófica	Morte de colaboradores e invalidez.	Dano estrutural e danos aos equipamentos.	Alto impacto ambiental.	Efluente não é tratado. Paralisação da planta.

Marcar apenas uma oval.

- 1 - Nenhuma
- 2 - Baixa
- 3 - Média
- 4 - Alta
- 5 - Catastrófica

23. 3.4) Na sua opinião, quais são os elementos de DETECÇÃO ou MONITORAMENTO deste evento? (Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Manômetros de pressão PI-02 e PI-03
- Prefiro não responder
- Outro: _____

24. 3.5) Baseado em sua resposta anterior, na sua avaliação, qual o nível de DETECÇÃO deste evento?

DETECÇÃO	Escala	Descrição	
		Detecção	Monitoramento
1	Nenhuma	Sem detecção. Não existe nenhum procedimento ou dispositivo de detecção. Sem possibilidade de detecção visual.	
2	Remota	Detecção remota. Detecção visual - manual e através de instrumentos eletrônicos.	
3	Moderada	Detecção moderada. Presença de instrumentos de detecção.	
4	Elevada	Detecção elevada. Presença de instrumentos de detecção e malhas de controle.	
5	Alta	Será detectado automaticamente. Presença de alarme in loco e sala de controle, malhas de controle, intertravamento e instrumentos de detecção.	

Marcar apenas uma oval.

- 1 - Sem detecção
- 2 - Detecção remota
- 3 - Detecção moderada
- 4 - Detecção elevada
- 5 - Será detectado automaticamente

25. 3.6) Dê recomendações para mitigar este risco. (Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Instalação de instrumentos de detecção compartilhados com a sala de controle
- Verificação da validade de calibração dos instrumentos
- Manutenção periódica dos sopradores
- Prefiro não responder
- Outro: _____

26. 4) Se nesta etapa ocorrer um desvio de "MAIS VAZÃO" de AR APÓS os SOPRADORES, na sua avaliação, quais seriam as CAUSAS mais prováveis desse evento? (Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Configuração da vazão nos sopradores fora do especificado
- Prefiro não responder
- Outro: _____

27. 4.1) Baseado na sua resposta anterior, qual seria a PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA deste evento, na sua avaliação?

OCORRÊNCIA	Escala	Descrição	
		Probabilidade	Conhecimento
1	Raro	Não irá ocorrer. Nenhuma ocorrência anterior. Se ocorrer será em circunstâncias excepcionais.	
2	Improvável	Pode ocorrer em algum momento. Chance de ocorrência menor ou igual a 25% e conhecimento de poucas ocorrências anteriores.	
3	Possível	Pode ocorrer em algum momento. Chance de ocorrência entre 25% e 50%, reportado em auditorias e de conhecimento de ocorrências anteriores.	
4	Provável	Provavelmente vai ocorrer na maioria das circunstâncias. Chance de ocorrência de 50% a 75%.	
5	Certo de Ocorrer	Vai ocorrer em todas as circunstâncias, com chance de mais de 75%. Conhecimento de ocorrências anteriores.	

Marcar apenas uma oval.

- 1 - Raro
- 2 - Improvável
- 3 - Possível
- 4 - Provável
- 5 - Certo de ocorrer

28. 4.2) Na sua opinião, quais seriam as possíveis CONSEQUÊNCIAS caso ocorresse o desvio de "MAIS VAZÃO" de AR APÓS os SOPRADORES ? (Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Formação de bolhas com diâmetro grande (impacto na transferência de oxigênio no tanque de aeração)
- Prefiro não responder
- Outro: _____

29. 4.3) Baseado na sua resposta anterior, qual seria na sua avaliação, a SEVERIDADE deste evento?

SEVERIDADE	Escala	Descrição			
		Pessoal	Estrutural	Ambiental	Produto/Processo
1	Nenhuma	Sem danos à saúde dos colaboradores. Sem afastamento	Sem danos aos equipamentos e estrutura.	Sem impactos negativos ao meio ambiente.	Sem impactos e qualidade do efluente.
2	Baixa	Pouco impacto aos colaboradores. Necessidade de afastamento	Danos poucos significativos à estrutura. Apenas danos aos equipamentos.	Pouco danos ao meio ambiente.	Impactos insignificante a qualidade do efluente.
3	Média	Danos à saúde dos colaboradores, com tratamento requerido por mais de 10 dias.	Danos moderados a estrutura e equipamentos.	Dano moderado ao meio ambiente.	Possível descumprimento de exigências regulatórias. Breve paralisação da planta.
4	Alta	Danos significativos aos colaboradores (invalidez ou possibilidade de morte).	Dano estrutural significativo, afetando área ao redor.	Dano significativo ao meio ambiente.	Descumprimentos regulatórios e efluente não tratado. Paralisação prolongada.
5	Catastrófica	Morte de colaboradores e invalidez.	Dano estrutural e danos aos equipamentos.	Alto impacto ambiental.	Efluente não é tratado. Paralisação da planta.

Marcar apenas uma oval.

- 1 - Nenhuma
- 2 - Baixa
- 3 - Média
- 4 - Alta
- 5 - Catastrófica

30. 4.4) Na sua opinião, quais são os elementos de DETECÇÃO ou MONITORAMENTO deste evento?
(Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Manômetros de pressão PI-02 e PI-03
- Sem detecção
- Prefiro não responder
- Outro: _____

31. 4.5) Baseado em sua resposta anterior, na sua avaliação, qual o nível DETECÇÃO deste evento?

DETECÇÃO	Escola	Descrição
DETECÇÃO	1. Nenhuma	Sem detecção. Não existe nenhum procedimento dispositivo de detecção. Sem possibilidade de de visual.
	2. Remota	Deteção remota. Deteção visual, manual e através testes analíticos.
	3. Moderada	Deteção moderada. Presença do instrumento de deteção.
	4. Elevada	Deteção elevada. Presença de instrumentos de de e malhas de controle.
	5. Alta	Será detectado automaticamente. Presença de al loco e sala de controle, malhas de controle, inletra e instrumentos de deteção.

Marcar apenas uma oval.

- 1 - Sem detecção
- 2 - Deteção remota
- 3 - Deteção moderada
- 4 - Deteção elevada
- 5 - Será detectado automaticamente

32. 4.6) Dê recomendações para mitigar este risco. *
(Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Verificação da calibração dos sensores
- Treinamento periódico dos colaboradores
- Prefiro não responder

33. 5) Se nesta etapa ocorrer um desvio de "MENOS VAZÃO" de AR APÓS os SOPRADORES, na sua avaliação, quais seriam as CAUSAS mais prováveis desse evento? *
(Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Obstrução das tubulações
- Válvulas manuais HV-07 e HV-08 parcialmente fechadas
- Válvula solenóides SOV-06 e SOV-05 parcialmente fechadas
- Vazão configurada fora do especificado
- Falha nos sopradores
- Filtros dos sopradores obstruídos
- Vazamento nas tubulações
- Prefiro não responder
- Outro: _____

34. 5.1) Baseado na sua resposta anterior, qual seria a PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA deste evento, na sua avaliação? *

OCORRÊNCIA	Escola	Descrição
OCORRÊNCIA	1. Raro	Não irá ocorrer. Nenhuma ocorrência anterior. Se ocorrer será em circunstâncias excepcionais.
	2. Improvável	Pode ocorrer em algum momento. Chance de ocorrência menor ou igual a 25% e conhecimento de poucas ocorrências anteriores.
	3. Possível	Pode ocorrer em algum momento. Chance de ocorrência entre 25% e 50%, reportado em auditorias e de conhecimento de ocorrências anteriores.
	4. Provável	Provavelmente vai ocorrer na maioria das circunstâncias. Chance de ocorrência de 50% a 75%.
	5. Certo de Ocorrer	Vai ocorrer em todas as circunstâncias, com chance de mais de 75%. Conhecimento de ocorrências anteriores.

Marcar apenas uma oval.

- 1 - Raro
- 2 - Improvável
- 3 - Possível
- 4 - Provável
- 5 - Certo de ocorrer

35. 5.2) Na sua opinião, quais seriam as possíveis CONSEQUÊNCIAS caso ocorresse o desvio de "MENOS VAZÃO" de AR APÓS os SOPRADORI (Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Vazão insuficiente para o tanque de aeração
- Impacto negativo na transferência de oxigênio no tanque de aeração
- Nenhuma
- Prefiro não responder
- Outro: _____

36. 5.3) Baseado na sua resposta anterior, qual seria na sua avaliação, a SEVERIDADE deste evento? *

SEVERIDADE	Escola	Descrição			
		Pessoal	Estrutural	Ambiental	Produto/Processo
SEVERIDADE	1. Nenhuma	Sem danos à saúde dos colaboradores. Sem afastamento	Sem danos aos equipamentos e estrutura.	Sem impactos negativos ao meio ambiente.	Sem impacto a qualidade do efluente.
	2. Baixa	Pouco impacto aos colaboradores. Necessidade de afastamento.	Danos poucos significativos à estrutura. Apenas danos aos equipamentos.	Pouco danos ao meio ambiente.	Impactos insignificantes a qualidade do efluente
	3. Média	Danos à saúde dos colaboradores, com tratamento requerido por mais de 30 dias.	Danos moderados a estruturas e equipamentos.	Danos moderados ao meio ambiente.	Possível descumprimento de exigências regulatórias. Breve paralisação da planta.
	4. Alta	Danos significativos aos colaboradores (invalidez ou possibilidade de morte).	Dano estrutural afetando área ao redor.	Dano significativo ao meio ambiente.	Descumprimentos regulatórios e efluente não tratado. Paralisação prolongada.
	5. Catastrófica	Morte de colaboradores e invalidez.	Dano estrutural e danos aos equipamentos.	Alto impacto ambiental.	Efluente não é tratado. Paralisação da planta.

Marcar apenas uma oval.

- 1 - Nenhuma
- 2 - Baixa
- 3 - Média
- 4 - Alta
- 5 - Catastrófica

37. 5.4) Na sua opinião, quais são os elementos de DETECÇÃO ou MONITORAMENTO deste evento? *
(Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Deteção visual
- Manômetros de pressão PI-02 e PI-03
- Sem detecção
- Prefiro não responder
- Outro: _____

38. 5.5) Baseado em sua resposta anterior, na sua avaliação, qual o nível de DETECÇÃO deste evento? *

DETECÇÃO	Escola	Descrição
DETECÇÃO	1. Nenhuma	Sem detecção. Não existe nenhum procedimento ou dispositivo de deteção. Sem possibilidade de deteção visual.
	2. Remota	Deteção remota. Deteção visual manual e através de testes analíticos.
	3. Moderada	Deteção moderada. Presença de instrumentos de deteção.
	4. Elevada	Deteção elevada. Presença de instrumentos de deteção e malhas de controle.
	5. Alta	Será detectado automaticamente. Presença de alarme in loco e sala de controle, malhas de controle, intertravamento e instrumentos de deteção.

Marcar apenas uma oval.

- 1 - Sem detecção
- 2 - Deteção remota
- 3 - Deteção moderada
- 4 - Deteção elevada
- 5 - Será detectado automaticamente

39. 5.8) Dê recomendações para mitigar este risco. *
(Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Verificação da calibração dos sensores
- Manutenção periódica dos sopradores
- Elaboração de treinamentos periódicos dos colaboradores
- Outro: _____

40. 6) Se nesta etapa ocorrer um desvio de "SEM VAZÃO" de AR APÓS os SOPRADORES, quais seriam as CAUSAS mais prováveis desse evento? *
(Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Obstrução das tubulações
- Válvulas manuais HV-07 e HV-08 fechadas
- Vazamento nas tubulações
- Válvulas solenóides SOV-06 e SOV-05 fechadas
- Sopradores desligados
- Falha nos sopradores
- Prefiro não responder
- Outro: _____

41. 6.1) Baseado na sua resposta anterior, qual seria a PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA deste evento, na sua avaliação? *

Escola	Descrição
1- Raro	Não irá ocorrer. Nenhuma ocorrência anterior. Se ocorrer será em circunstâncias excepcionais.
2- Improvável	Pode ocorrer em algum momento. Chance de ocorrência menor ou igual a 25% e conhecimento de poucas ocorrências anteriores.
3- Possível	Pode ocorrer em algum momento. Chance de ocorrência entre 25% e 50%, reportado em auditorias e de conhecimento de ocorrências anteriores.
4- Provável	Provavelmente vai ocorrer na maioria das circunstâncias. Chance de ocorrência de 50% a 75%.
5- Certo de Ocorrer	Vai ocorrer em todas as circunstâncias, com chance de mais de 75%. Conhecimento de ocorrências anteriores.

Marcar apenas uma oval.

- 1 - Raro
- 2 - Improvável
- 3 - Possível
- 4 - Provável
- 5 - Certo de ocorrer

42. 6.2) Na sua opinião, quais seriam as possíveis CONSEQUÊNCIAS caso ocorresse o desvio de "SEM VAZÃO" de AR APÓS os SOPRADORES ? *
(Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Sem fornecimento de ar para o tanque de seração
- Prefiro não responder
- Nenhuma
- Outro: _____

43. 6.3) Baseado na sua resposta anterior, qual seria na sua avaliação, a SEVERIDADE deste evento? *

Escola	Escala	Descrição			
		Personal	Estrutural	Ambiental	Produto/Processo
S E R V I D O A D E	1- Nenhuma	Sem danos à saúde dos colaboradores. Sem afastamento.	Sem danos aos equipamentos e estrutura.	Sem impactos negativos ao meio ambiente.	Sem impacto a qualidade do efluente.
	2- Baixa	Pouco impacto aos colaboradores. Necessidade de afastamento.	Danos poucos significativos à estrutura. Apenas danos aos equipamentos.	Pouco danos ao meio ambiente.	Impactos insignificantes à qualidade do efluente.
	3- Média	Danos à saúde dos colaboradores, com tratamento necessário por mais de 30 dias.	Danos moderados à estrutura e equipamentos.	Dano moderado ao meio ambiente.	Possível descumprimento de exigências regulatórias. Breve paralisação de planta.
	4- Alta	Danos significativos aos colaboradores (invalidez ou possibilidade de morte).	Dano estrutural significativo, afetando área no setor.	Dano significativo ao meio ambiente.	Descumprimentos regulatórios e efluente não tratado. Paralisação prolongada.
	5- Catastrófica	Morte de colaboradores e invalidez.	Dano estrutural e danos aos equipamentos.	Alto impacto ambiental.	Efluente não tratado. Paralisação de planta.

Marcar apenas uma oval.

- 1 - Nenhuma
- 2 - Baixa
- 3 - Média
- 4 - Alta
- 5 - Catastrófica

44. 6.4) Na sua opinião, quais são os elementos de DETECÇÃO ou MONITORAMENTO deste evento? *
(Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Detecção visual
- Manômetros de pressão PI-02 e PI-03
- Prefiro não responder
- Outro: _____

45. 6.5) Baseado em sua resposta anterior, na sua avaliação, qual o nível de DETECÇÃO deste evento? *

D E T E C Ç Ã O	Escola	Descrição
	1- Nenhuma	Sem detecção. Não existe nenhum procedimento ou dispositivo de detecção. Sem possibilidade de detecção visual.
	2- Remota	Detecção remota. Detecção visual, manual e através de testes analíticos.
	3- Moderada	Detecção moderada. Presença de instrumentos de detecção.
	4- Elevada	Detecção elevada. Presença de instrumentos de detecção e malhas de controle.
5- Alta	Será detectado automaticamente. Presença de alarme in loco e sala de controle, malhas de controle, intertravamento e instrumentos de detecção.	

Marcar apenas uma oval.

- 1 - Sem detecção
- 2 - Detecção remota
- 3 - Detecção moderada
- 4 - Detecção elevada
- 5 - Será detectado automaticamente

46. 6.6) Dê recomendações para mitigar este risco. *
(Marque quantas opções quiser)

Marque todas que se aplicam.

- Manutenção periódica das tubulações
- Manutenção periódica dos sopradores
- Verificação da validade de calibração dos instrumentos
- Prefiro não responder
- Outro: _____

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários