



**UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO**

**CENTRO CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS**

**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**PROJETO DO SISTEMA DE COMBATE A INCÊNDIO DA ÁREA DE TANCAGEM  
DE UM TERMINAL FERROVIÁRIO**

**GUSTAVO FERREIRA SOARES SILVA**

**VICENTE DE ARAUJO NUNES JUNIOR**

**SÃO LUÍS/MA**

**2021**



**UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO**



**GUSTAVO FERREIRA SOARES SILVA**

**VICENTE DE ARAUJO NUNES JUNIOR**

**PROJETO DO SISTEMA DE COMBATE A INCÊNDIO DA ÁREA DE TANCAGEM  
DE UM TERMINAL FERROVIÁRIO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Maria Amália Trindade de Castro

SÃO LUÍS/MA

2021



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



ENGENHARIA  
MECÂNICA

Silva, Gustavo Ferreira Soares.

Projeto do sistema de combate a incêndio de um terminal ferroviário / Gustavo Ferreira Soares Silva, Vicente de Araujo Nunes Júnior. – São Luís, 2021.

132

TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2021.

Orientadora: Profa. Ma. Maria Amália Trindade de Castro.

1.Sistema de combate a incêndio. 2.Terminal ferroviário. 3.Análise hidráulica. 4.Dimensionamento. 5.Normas. I.Nunes Júnior, Vicente de Araujo. II.Título.

CDU: 614.841.48



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



**GUSTAVO FERREIRA SOARES SILVA**

**VICENTE DE ARAUJO NUNES JUNIOR**

**PROJETO DO SISTEMA DE COMBATE A INCÊNDIO DA ÁREA DE TANCAGEM  
DE UM TERMINAL FERROVIÁRIO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Mecânica.

Aprovada em: 08 / 12 / 2021

**BANCA EXAMINADORA**

Maria Amália Trindade de Castro  
Matrícula: 6633-1  
Chefe do Departamento de Engenharia Mecânica - DEMEC  
Centro de Ciências Tecnológicas - CCT  
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

Prof. Me. Maria Amália Trindade de Castro (Orientadora)

Universidade Estadual do Maranhão

José de Ribamar Ferreira Barros Junior  
Matrícula: 2611796  
Membro do Núcleo Tecnológico de Engenharia - NUTENGE CCT  
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

Prof. Me. José de Ribamar Ferreira Barros Junior

Universidade Estadual do Maranhão

Univ. Estadual do Maranhão-UEMA  
Diretor do Curso de Engenharia Mecânica  
Prof. Me. Carlos Ronyhelton S. de Oliveira  
Matrícula: 86657-1

Prof. Me. Carlos Ronyhelton Santana de Oliveira

Universidade Estadual do Maranhão



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



## AGRADECIMENTOS

Eu, **Vicente de Araújo Nunes Júnior**, sou muito grato a Deus por ter tido a oportunidade de estudar e chegar ao ponto que hoje me encontro, próximo de uma graduação em um curso superior. Meus pais foram os principais responsáveis por tal conquista, visto que desde o início não mediram esforços para que eu pudesse ter uma educação de qualidade, e além disso, foram grandes responsáveis por meu desenvolvimento pessoal, pois sempre me incentivaram e me apoiaram durante minha vida. Agradeço também ao meu irmão, pois o mesmo esteve presente e me ajudou inúmeras vezes, com trabalhos, caronas e até mesmo com palavras que me motivaram a continuar.

Fundamental para que eu me tornasse quem sou hoje, agradeço também a minha namorada, meu braço direito por muitos anos da minha vida, e sem ela, não estaria chegando a este dia com o mesmo êxito. Assim como meu doguinho, que estava comigo em todos os momentos que sentei para escrever. Por último, quero agradecer aos meus amigos Gustavo e Alan, amizades que pretendo ter pro resto da vida e que são extremamente importantes pra mim.

Eu, **Gustavo Ferreira Soares Silva**, agradeço, primeiramente, a Deus por ter chegado até aqui. Agradeço também à minha família por todo apoio concedido em todos esses anos da minha vida. Aos meus amigos Vicente Junior, Alan Rubens, Victor Valverde e aos amigos do projeto Bumba meu Baja, agradeço por tornarem essa caminhada mais leve. Meu muito obrigado a todos!



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



## RESUMO

O estudo desenvolvido neste documento se baseia em um projeto de adequação de um sistema de proteção e combate a incêndio da área de tancagem de um Terminal Ferroviário, visando atender as normativas de segurança nacionais, internacionais, códigos e leis vigentes, e propor uma solução facilitadora para o sistema atual, ligado diretamente à redução de custos de implantação (Capex) e operação (Opex). A adequação do sistema de combate a incêndio fora desenvolvida para uma empresa mineradora, sendo a solicitante do projeto. Como forma de esclarecimento dos fundamentos envolvidos nas premissas do projeto, é apresentada a área do Terminal Ferroviário, o sistema de combate a incêndio atual, as atualizações das normativas técnicas bem como uma análise hidráulica de ganhos em segurança e eficiência no combate ao sinistro.

Durante o referencial teórico, há pesquisas bibliográficas que compreendem: O comportamento do fogo durante o acidente, método de extinção, funcionamento dos sistemas de combate a incêndio, agentes extintores, conceitos de análise hidráulica e mecânica dos fluidos e normas técnicas. Já no desenvolvimento, foram realizados cálculos suficientes para só então simular em um software que resolve problemas de análise hidráulica e de mecânica dos fluidos, validando o projeto e permitindo assim algumas mudanças necessárias.

O objetivo deste trabalho é elaborar um projeto de desenvolvimento científico, no qual buscou-se, primeiramente, evidenciar uma demanda devido à ampliação ocorrida na área de tancagem no decorrer dos anos e suprir esta demanda com um projeto que adeque o SPCI, conforme os regulamentos da mineradora, o Corpo de Bombeiros do Estado e as Normas.

Diante disso, foram analisados os equipamentos e componentes do sistema de proteção e combate a incêndio atual, e conseqüentemente, houve a necessidade de realizar alterações em alguns equipamentos já instalados, mantendo-se apenas aqueles que atendiam o projeto discorrido neste trabalho.

**Palavras-Chave:** Sistema de Combate a Incêndio, Terminal Ferroviário, Análise Hidráulica, Dimensionamento, Normas.



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



## ABSTRACT

The study developed in this document is based on a project to adequate a protection and firefighting system of a Railroad Terminal tanking area, following national and international safety standard requirements, codes and current laws, and propose a better solution to the present system, proposing to reduce operation (Opex) and deployment costs (Capex). The adequacy of this system was made for a mining company. As a way to introduce the fundamentals involved in the project, the Railroad Terminal area is featured, as well as, the current firefighting system, updates of technical standards and hydraulic analysis of gains in safety and efficiency in incident fighting.

The objective of this work is to do a scientific development project, in which it was sought first to show a demand due to the expansion that has occurred in the tanking area over the years, and supply it with a project that adjust the firefighting and protection system according to the regulations of the mining company, the State Fire Department, and the technical Standards.

During the theoretical frame, there is bibliographical research that comprises: The behavior of fire during the accident, extinguishing method, functioning of the firefighting systems, extinguishing agents, fluid mechanics, hydraulic analysis and technical standards. In the development, the sizing of the system in question, was made sizing and calculating some elements to use on a software that solve fluids mechanics and hydraulic analysis problems, to validate the project and allow to make some required changes.

Therefore, the equipment and components of the current fire protection and firefighting system were analyzed, and consequently, there was a need to make changes to some of the equipments already installed keeping up only those who attended the project calculated here.

**Keywords:** Firefighting System, Railroad Terminal, Hydraulic Analysis, Sizing, Standards.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Pontos de corrosão em hidrantes da Ferrovia. (Autores, 2021).....	22
Figura 2.2 – Tetraedro do fogo (Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás, 2016) .....	30
Figura 2.3 – Transferência de calor (Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, 2ªed: 2009) ....	33
Figura 2.4 – Formas de Transferência de calor (CBMDF, 2009).....	33
Figura 2.5 – Curva de evolução do incêndio celulósico (Seito et al. 2008).....	38
Figura 2.6 – Atuação da espuma (Kidde, 2005) .....	43
Figura 2.7 – Tipos de jatos produzidos por esguichos (IFSTA, 1990).....	52
Figura 2.8 – Apresentação do aplicador manual de espuma (Protector Fire., 2015).....	53
Figura 2.9 – Apresentação da carreta proporcionadora de espuma (Protector Fire, 2015).....	54
Figura 2.10 – Proporcionador do tipo PL (Kidde, 2005).....	54
Figura 2.11 – Canhão monitor (Protector Fire, 2015) .....	55
Figura 2.12 – Canhão Monitor Fixo Flangeado (Protector Fire, 2015).....	55
Figura 2.13 – Atuação do sistema de Dilúvio em um tanque (Fire Protect, 2016).....	58
Figura 2.14 – Exemplo de sistema de Chuveiros Automáticos do tipo “Sprinkler” similar ao sistema de Dilúvio utilizado no projeto (Skop, 2019) .....	59
Figura 2.15 – Sistemas de combate a incêndio na tancagem com Resfriamento e Espumas (Argus Engenharia, 2012).....	62
Figura 2.16 – Câmara de espuma (Protector Fire, 2015).....	63
Figura 2.17 – Tipos de bomba na instalação para combate a incêndio (Oswaldo, 2012).....	63
Figura 2.18 – Tipos de instalação de bombas quanto a sua sucção (VIANNA, 2020).....	64
Figura 2.19 – Bomba Centrífuga (Lorentz, Hofstadler e Peixoto et al., 2009).....	65
Figura 2.20 – Perfil de velocidade para um escoamento turbulento (Çengel, 2012).....	67
Figura 2.21 – Sinalização utilizada nas bacias (ABNT, 2020) .....	70
Figura 2.22 – Exemplo de Caminho Seguro em uma empresa de transportes (Viação Grande Vitória, 2014).....	71
Figura 2.23 – Faixa de Obstáculos em ambientes externos (ABNT, 2020).....	71
Figura 2.24 – Representação dos elementos de combate a incêndio a serem utilizados (ABNT, 2020).....	72
Figura 3.25 – Vista superior da tancagem do PIAL (Autor, 2021).....	74
Figura 5.26 – Definição de tanques vizinhos (PNR-16, 2020).....	83
Figura 5.27 – Equacionamento da área de um segmento esférico (Autores, 2021).....	85
Figura 5.28 – Visão Aérea da Bacia 1 (Google Earth website, 2021) .....	86
Figura 5.29 – Taxas de Descarga de Água para Tanques (PNR-16, 2020) .....	87





Figura 5.30 – Organograma das taxas de descarga de água para tanques (PNR-16, 2020).....	88
Figura 5.31 – Visão Aérea da Bacia 1 (Google Earth website, 2021).....	94
Figura 5.32 – Taxas de Descarga de Água para Tanques (PNR-16, 2020).....	95
Figura 5.33 – Organograma das taxas de descarga de água para tanques (PNR-16, 2020).....	96
Figura 5.34 – Curva da Bomba MULTITEC 125 – 10.2 (KSB, 2011).....	105
Figura 5.35 – Curva da Bomba com 5 Estágios vs. Curva do Sistema (Autores, 2021).....	105
Figura 5.36 – Resultados da Bomba com 5 Estágios (Autores, 2021).....	106
Figura 5.37 – Curva da Bomba com 4 Estágios vs. Curva do Sistema (Autores, 2021).....	106
Figura 5.38 – Resultados da Bomba com 4 Estágios (Autores, 2021).....	107
Figura 5.39 – Curva da Bomba CRI/CRN 5-10 (Grundfos, 2019).....	108
Figura 5.40 – Bomba CRI/CRN 5-10 (Grundfos, 2019).....	109
Figura 5.41 – Demonstração da câmara de espuma (Bucka, 2021).....	118
Figura 5.42 – Esquemático do sistema de resfriamento por anéis de aspersão da bacia 1 (Autores, 2021).....	124
Figura 5.43 – Esquemático do sistema de resfriamento por anéis de aspersão da bacia 1 (Autores, 2021).....	125
Figura 5.44 – Esquema do projeto de combate a incêndio na bacia 1 (Autores, 2021).....	125
Figura 5.45 – Esquema do projeto de combate a incêndio na bacia 2 (Autores, 2021).....	126



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Medidas de segurança contra incêndio classificadas quanto a função (Adaptado de Rodrigues, 2016).....	25
Quadro 2.2 - Maiores incêndios ocorridos no Brasil (Adaptado de Oliveira, Gill e Negrisoló, 2008)..	27
Quadro 2.3 - Características das fases de um incêndio (CARVALHO, Ricardo et al., 2009).....	40
Quadro 2.4 - Classificação da expansividade da espuma (Autores, 2021).....	44



## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Exemplos de cargas de incêndio específicas típicas em alguns ambientes (Hadjisophocleous, G. V. e Richardson, 2005) .....	49
Tabela 2.2 - Classificação das edificações e áreas de risco quanto à carga de incêndio (NT-01/2021) 49	
Tabela 3.3 - Detalhamento da área de tancagem (Autores, 2021) .....	74
Tabela 3.4 - Classificação de líquidos inflamáveis e combustíveis NBR 17505-1: 2013 .....	75
Tabela 3.5 - Classificação das edificações e áreas de risco quanto à ocupação (NT-01/2021) .....	76
Tabela 3.6 - Classificação Das Edificações e Áreas De Risco (NT-01/2021).....	77
Tabela 3.7 - Classificação das Edificações e Áreas de Risco (Autores, 2021).....	78
Tabela 3.8 - Classificação das Edificações e Áreas de Risco pela Carga de Incêndio (NT-01/2021)...	79
Tabela 5.9 – Dados da Bacia de Contenção 1.....	84
Tabela 5.10 – Sistema Fixo de Combate a Incêndio com Água para Tanques (NT-25/2021) .....	85
Tabela 5.11 – Dados dos Tanques Presentes na Bacia 1 (Autores, 2021) .....	86
Tabela 5.12 – Vazões necessárias (Autores, 2021).....	88
Tabela 5.13 – Resumo das Exigências de Proteção por Espuma (NT-25/2021) .....	89
Tabela 5.14 – Sistemas Fixos de Combate a Incêndio por Espuma a Partir de Tanques Verticais (PNR-16, 2020).....	90
Tabela 5.15 – Número Mínimo de Câmaras de Espuma por Tanque (PNR-16, 2020) .....	90
Tabela 5.16 – Taxa de Aplicação e Tempo de Espuma em Tanques Verticais Armazenando Hidrocarbonetos (NT-25/2021) .....	91
Tabela 5.17 – Número mínimo de canhões-monitores em Bacias com Tanques Verticais (NBR 17505-7:2015).....	92
Tabela 5.18 – Tempo de Aplicação em Bacias com Tanques Verticais (PNR-16, 2020) .....	92
Tabela 5.19 – Dados da Bacia de Contenção 2 (Autores, 2021) .....	93
Tabela 5.20 – Sistema Fixo de Combate a Incêndio com Água para Tanques (NT-25/2021) .....	93
Tabela 5.21 – Dados dos Tanques Presentes na Bacia 2 (Autores, 2021) .....	94
Tabela 5.22 – Área a Ser Resfriada dos Tanques Vizinhos por Aspersores (NBR 17505-7:2015).....	96
Tabela 5.23 – Vazões necessárias (Autores, 2021).....	97
Tabela 5.24 - Dados da bacia 3 (Autores, 2021).....	99
Tabela 5.25 - Dados de Entrada para Modelagem do Sistema (Autores, 2021) .....	103
Tabela 5.26 - Ponto de Operação da Bomba com 5 Estágios (Autores, 2021).....	105
Tabela 5.27 - Ponto de Operação da Bomba com 4 Estágios (Autores, 2021).....	107
Tabela 5.28 - Catálogo Técnico (Grundfos, 2019) .....	109



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



Tabela 5.29 - Capacidade nominal das bombas (NFPA 20, 2021) .....	111
Tabela 5.30 - Resumo dos dados da bomba de incêndio centrífuga (NFPA 20, 2021) .....	112
Tabela 5.31 - Tempo de combate a incêndio em função da capacidade de armazenamento (PNR-16, 2020) .....	113
Tabela 5.32 - Valores Nominais de Fator K para Sistema de Dilúvio (PNR-15, 2020) .....	114
Tabela 5.33 - Especificação dos Bicos (Tyco Fire, 2018) .....	115
Tabela 5.34 – Distancia Axial Máxima (Tyco Fire, 2018) .....	115
Tabela 5.35 - Área de Cobertura Efetiva (Tyco Fire, 2018) .....	115
Tabela 5.36 - Quantidade de bicos por tanque (Autores, 2021) .....	116
Tabela 5.37 - Dimensionamento da Câmara de Espuma (Kidde, 2019) .....	117
Tabela 5.38 - Dimensionamento da Câmara de Espuma (Kidde, 2019) .....	118
Tabela 5.39 - Dimensionamento da Câmara de Espuma (Kidde, 2019) .....	119
Tabela 5.40 - Dimensionamento da Câmara de Espuma (Kidde, 2019) .....	119
Tabela 5.41 - Dimensionamento do proporcionador de espuma (Kidde, 2019) .....	120



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

CBMMA – Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Maranhão

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

NFPA – *National Fire Protection Association*

SPCI – Sistema de Proteção e Combate a Incêndio

PNR – Padrão normativo Regulador

NT – Normativa Técnica

Opex – Custo de operação

Capex – Custo de implantação

PPCI - Plano de Prevenção e Proteção Contra Incêndio

RTI – Reserva Técnica de Incêndio

COSCIP - Código de Segurança contra Incêndio e Pânico



## LISTA DE VARIÁVEIS

**$q_{fi}$** : Carga de incêndio específica [MJ/m<sup>2</sup>];

**$M_i$** : Massa total de combustível [Kg];

**$H_i$** : Potencial calorífico dos materiais combustíveis; [MJ/Kg];

**$A_f$** : Área do local [m<sup>2</sup>];

**$v$** : é a velocidade do fluxo [m/s<sup>2</sup>];

**$D$** : Diâmetro [m];

**$\rho$** : densidade do fluido [kg/m<sup>3</sup>];

**$\mu$** : viscosidade dinâmica [Pa·s];

**$h_f$** : Perda de carga [mca];

**$D$** : Diâmetro interno da tubulação [m];

**$V$** : Velocidade do fluido [m/s];

**$g$** : Aceleração da gravidade [m/s<sup>2</sup>];

**$k$** : Somatória dos coeficientes de perda de carga das singularidades [adimensional];

**$f$** : Fator de fricção [adimensional];

**$\epsilon$** : Rugosidade absoluta da tubulação [m];

**$L$** : Comprimento equivalente [m];

**$H$** : Altura manométrica total [mca];

**$H_{geo}$** : Altura geométrica [m];

**$pr_d$** : Pressão no reservatório de descarga [Kgf/cm<sup>2</sup>];

**$pr_s$** : Pressão no reservatório de sucção [Kgf/cm<sup>2</sup>];

**$\gamma$** : Peso específico do fluido [Kgf/dm<sup>3</sup>];

**$H_p$** : Perda de carga para fórmula [m];

**$vr_d$** : Velocidade no reservatório de descarga [m/s];

**$vr_s$** : Velocidade no reservatório de sucção [m/s];

**$g$** : Aceleração da gravidade [m/s<sup>2</sup>];

**$A_{ct}$** : Área do costado do tanque [m<sup>2</sup>];

**$A_{tt}$** : Área do teto do tanque [m<sup>2</sup>];

**$Q_{ctc}$** : Vazão do Costado do Tanque [L/min] ou [m<sup>3</sup>/h];

**$Q_{ttc}$** : Vazão do teto do Tanque [L/min] ou [m<sup>3</sup>/h];



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



ENGENHARIA  
MECÂNICA

**$Q_{\text{Resfriamento}}$**  : Vazão de Resfriamento na bacia [L/min] ou [m<sup>3</sup>/h];

**$A_{ST}$** : Área da secção transversal do tanque [m<sup>2</sup>];

**$Q_{BC}$**  :Vazão para Bacia de Contenção [L/min] ou [m<sup>3</sup>/h];

**$V_{\text{TOTAL LGE}}$** : Volume total de LGE [m<sup>3</sup>];

**$N$** : Potência do motor [cv] ou [hp];

**$n$** : Rendimento da bomba [adimensional];

**$P_{\text{Máx}}$**  : Pressão máxima na câmara de espuma dada pelo fabricante [Kgf/cm<sup>2</sup>];

**$P_{\text{Min}}$**  : Pressão mínima na câmara de espuma dada pelo fabricante [Kgf/cm<sup>2</sup>];

**$d$** : Diâmetro da placa de orifício [pol] ou [mm];

**$Q_{SE}$**  : Vazão da solução de espuma para cálculo da placa de orifício [gpm];

**$P_{EP}$**  : Pressão na entrada da placa [psi];

**$K$** : Coeficiente de descarga [L/min/bar<sup>1/2</sup>] ou [gpm/psi<sup>1/2</sup>];



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	20
1.1. Justificativa.....	22
1.2. Objetivos.....	23
1.2.1. Objetivo geral.....	23
1.2.2. Objetivos específicos.....	23
1.3. Estrutura do Trabalho .....	24
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	25
2.1. Sistema de Segurança Contra Incêndio .....	25
2.2. Segurança Contra Incêndio no Brasil .....	26
2.3. Incêndio e Teoria Básica do Fogo .....	29
2.3.1. Fogo.....	29
2.3.2. Combustão.....	30
2.3.3. Combustível .....	31
2.3.3.1. Combustíveis Sólidos .....	31
2.3.3.2. Combustíveis Líquidos .....	31
2.3.3.3. Combustíveis Gasosos.....	32
2.3.4. Comburente .....	32
2.3.5. Calor.....	32
2.3.6. Reação em cadeia.....	33
2.3.7. Propagação do calor .....	33
2.3.7.1. Condução .....	33
2.3.7.2. Convecção .....	34
2.3.7.3. Irradiação ou radiação térmica .....	34
2.3.8. Pontos e Temperaturas .....	34
2.3.8.1. Ponto de Fulgor .....	34
2.3.8.2. Ponto de Combustão.....	34
2.3.8.3. Ponto de Ignição.....	35
2.3.9. Métodos de extinção do fogo .....	35
2.3.9.1. Resfriamento.....	35
2.3.9.2. Abafamento .....	35
2.3.9.3. Isolamento .....	35
2.3.9.4. Quebra da reação em cadeia.....	36
2.3.10. Classes de Incêndio .....	36
2.3.10.1. Classe “A” .....	36
2.3.10.2. Classe “B”.....	36
2.3.10.3. Classe “C”.....	37
2.3.10.4. Classe “D” .....	37





2.3.10.5. Classe “K” .....	37
2.3.11. Etapas do Incêndio .....	37
2.3.11.1. Fase de Ignição .....	38
2.3.11.2. Fase da Propagação .....	38
2.3.11.3. Fase da Queima Livre ou Combustão Contínua.....	39
2.3.11.4. Fase da Queima Lenta ou Redução .....	39
2.4. Agentes extintores .....	40
2.4.1. Água .....	40
2.4.2. Pós químicos: .....	41
2.4.2.1. Abafamento .....	41
2.4.2.2. Resfriamento.....	41
2.4.2.3. Quebra da reação em cadeia .....	41
2.4.2.4. Proteção contra irradiação do calor .....	41
2.4.3. Gás Carbônico .....	42
2.4.4. Espumas .....	42
2.4.4.1. Atuação da Espuma .....	43
2.4.4.2. Taxa de Expansão da Espuma .....	43
2.4.4.3. Aspectos das Espumas.....	44
2.4.4.4. Pontos no uso da Espuma .....	45
A. Temperatura da água, contaminantes .....	45
B. Pressão da água.....	45
C. Incêndios causados pela eletricidade.....	45
D. Derramamento de Líquidos Inflamáveis .....	45
E. Líquidos Voláteis.....	45
2.4.4.5. Tipos de LGE.....	46
2.4.4.6. Dosagem das Espumas .....	46
2.5. Carga de Incêndio .....	48
2.6. Classificação de risco .....	50
2.7. Instalações e sistemas para Combate a Incêndios .....	51
2.7.1. Equipamentos associados ao combate a incêndio .....	51
2.7.1.1. Mangueiras de Incêndio.....	51
2.7.1.2. Esguichos.....	51
2.7.2. Sistemas Fixos de Combate a Incêndio.....	55
2.7.2.1. Chuveiros Automáticos .....	56
2.7.2.1.1. Sistema de Dilúvio.....	58
2.7.2.2. Elementos constituintes do sistema de chuveiros automáticos .....	59
2.7.2.2.1. Tipos de Chuveiros Automáticos: .....	60
2.7.2.2.2. Tipos de Chuveiro Quanto à Descarga D’água: .....	60



2.7.2.3.	Sistema de Aplicação de Espuma e Resfriamento.....	61
2.7.2.3.1.	Câmaras de Espuma.....	62
2.7.3.	Sistema de Bombeamento .....	63
2.7.3.1.	Bomba Centrífuga.....	65
2.7.4.	Conceitos para cálculo de escoamento do fluido .....	66
2.7.4.1.	Número de Reynolds .....	66
2.7.4.2.	Cálculo da Perda de Carga.....	67
2.7.4.3.	Altura Manométrica Total .....	68
2.7.5.	Fonte de abastecimento de água.....	68
2.7.6.	Sinalização de emergência .....	69
2.7.6.1.	Classificação de Sinalização.....	69
2.7.6.1.1.	Sinalização Básica .....	69
2.7.6.1.2.	Sinalização Complementar .....	70
2.7.6.2.	Detalhamento das placas de sinalização.....	70
2.7.6.3.	Caminho seguro.....	70
2.7.6.4.	Sinalização de equipamentos.....	71
3.	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E DA ÁREA.....	73
3.1.	Apresentação da Área.....	73
3.2.	Classificação da Área .....	74
3.2.1.	Classificação Quanto a Ocupação .....	75
3.2.2.	Classificação Quanto ao Risco.....	76
3.3.	Definições para Combate ao Sinistro .....	78
3.4.	Premissas de Projeto.....	80
4.	METODOLOGIA.....	81
4.1.	Passo a passo para a realização do projeto .....	81
5.	DESENVOLVIMENTO.....	83
5.1.	Cálculo do Sistema de Resfriamento e Aplicação de Espuma .....	83
5.2.	Combate na Bacia 1 .....	84
5.2.1.	Sistema de Resfriamento dos Tanques.....	84
5.2.2.	Análise do Cenário de Incêndios.....	86
5.2.3.	Análise do Tanque Em Chamas .....	87
5.2.3.1.	Análise dos Tanques Vizinhos .....	87
5.2.4.	Vazão Total para Resfriamento dos Tanques Verticais da Bacia 1 .....	88
5.2.5.	Sistema de Aplicação de Espuma.....	89
5.2.6.	Proteção por Câmara de Espuma .....	90
5.2.7.	Proteção da Bacia de Contenção .....	91
5.2.8.	Vazão Total para Combate da Bacia de Contenção 1 .....	92
5.3.	Combate na bacia 2.....	93



5.3.1.	Sistema de Resfriamento dos Tanques.....	93
5.3.2.	Análise do Cenário de Incêndios.....	94
5.3.2.1.	Análise do tanque em chamas .....	95
5.3.2.2.	Análise dos tanques vizinhos.....	95
5.3.3.	Vazão Total para Resfriamento dos Tanques Verticais da Bacia 2 .....	97
5.3.4.	Sistema de Aplicação de Espuma.....	97
5.3.4.1.	Proteção por Câmara de Espuma.....	97
5.3.4.2.	Proteção da Bacia de Contenção .....	98
5.3.5.	Vazão Total para Combate da Bacia de Contenção 2 .....	99
5.4.	Combate na bacia 3.....	99
5.5.	Dimensionamento do Volume do Reservatório de LGE .....	100
5.5.1.	Volume de LGE para Bacia de Contenção 1.....	100
A.	Combate a Incêndio com Sistema de Aplicação Fixa de Espuma (Câmara de Espuma):	
	100	
B.	Combate a Incêndio com Aplicação Manual de Espuma: .....	100
5.5.2.	Volume de LGE para Bacia de Contenção 2.....	101
A.	Combate a Incêndio com Sistema de Aplicação Fixa de Espuma (Câmara de Espuma):	
	101	
B.	Combate a Incêndio com Aplicação Manual de Espuma: .....	101
5.5.3.	Volume Total do Reservatório de LGE.....	101
5.6.	Avaliação e verificação da Bomba e Análise Hidráulica do Sistema.....	102
5.6.1.	Verificação da Pressão Máxima de Operação .....	107
5.6.2.	Dimensionamento da Bomba Jockey .....	108
5.6.3.	Verificação do Motor Elétrico da Bomba Principal.....	110
5.6.4.	Verificação do Motor Diesel da Bomba Stand-By.....	110
5.6.4.1.	Cálculo da Capacidade do Tanque de Combustível do Motor a Diesel .....	110
5.6.4.2.	Seleção da Válvula de Alívio .....	110
5.6.4.2.1.	Pressão de Abertura da Válvula de Alívio Bomba Diesel.....	111
5.6.4.2.2.	Dimensões da Válvula de Alívio Bomba Diesel .....	112
5.7.	Verificação da Reserva Técnica de Água para Combate ao Sinistro .....	112
5.8.	Seleção bicos e Dimensionamento dos Anéis de Aspersão.....	113
5.8.1.	Seleção dos Aspersores do Sistema de Resfriamento dos Tanques da Bacia 1 .....	114
5.9.	Seleção da Câmara de Espuma .....	116
5.9.1.	Câmara de Espuma para os Tanques da Bacia 1 .....	116
5.9.2.	Câmara de Espuma para os Tanques da Bacia 2 .....	118
5.10.	Proporcionador de Espuma .....	119
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	121
6.1.	Bacia 1 .....	121
6.2.	Bacia 2 (Linhas Manuais ou Canhões Monitores).....	122



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



6.3. Volume do reservatório de LGE.....	123
6.4. Análise das bombas: .....	123
6.4.1. Bomba Elétrica Principal: .....	123
6.4.2. Bomba Jockey: .....	123
6.5. Análise dos Motores: .....	123
6.5.1. Motor da bomba elétrica principal: .....	123
6.5.2. Motor da bomba Stand-by (a diesel) .....	123
6.5.2.1. Volume do tanque de combustível do motor da bomba Stand-by.....	123
6.6. Reserva Técnica de Água .....	123
6.7. Bicos aspersores .....	124
6.8. Câmaras de Espuma.....	124
6.9. Proporcionador de Espuma.....	124
6.10. Esquemas do SPCI .....	124
7. CONCLUSÃO.....	127
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	128



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



## 1. INTRODUÇÃO

Incêndio é o nome dado ao fogo que foge do controle humano e consome tudo aquilo que não deveria consumir, de forma desenfreada e descontrolada, podendo, através da ação de suas chamas, calor e/ou fumaça, proporcionar danos à vida, ao patrimônio e ao meio ambiente (Flores, Ornelas e Dias, 2016). A Proteção Contra Incêndio é o termo utilizado para se referir às medidas de segurança preventiva, utilizadas de modo a evitar sinistros, tendo como objetivo proteger a vida e o patrimônio, restringir a propagação do fogo, proporcionar meios de controlar e cessar o incêndio e permitir o acesso de brigadista e viaturas do corpo de bombeiros ao local. Surgiu com o intuito de estabelecer e aprimorar técnicas, meios, regulamentações e normativas de segurança.

De acordo com Siqueira (2020, p. 2), as primeiras iniciativas de prevenção contra o incêndio no Brasil iniciaram na década de 20, através do Cel. João Lopes de Oliveira Lyrio, que viu a necessidade de um plano de prevenção para grandes edifícios e enviou um relatório para o Ministério da Justiça, entre outras autoridades. A partir desta iniciativa, uma atenção maior foi dada aos assuntos relativos à segurança contra incêndio. Devido a isso, no dia 25 de maio de 1926, foi inaugurado, no Rio de Janeiro, o primeiro prédio com sistema de prevenção contra esse tipo de sinistro. No decorrer dos anos, houve grandes evoluções nessa área, principalmente, durante as décadas de 70 e 80.

Segundo Rodrigues (2016), os grandes incidentes ocorridos nas décadas 70 e 80 em edifícios altos, principalmente, em São Paulo, chocaram o país, tais como no Edifício Joelma, em 1974 (25 pavimentos), no Edifício Andas, em 1972 (31 pavimentos), e nas torres da CESPI, em 1987 (21 e 27 pavimentos), por exemplo. Entretanto, por coincidência, nesse período as edificações começaram a ter alturas mais elevadas, excesso de vidros e materiais combustíveis nas fachadas, utilização de estruturas de concreto armado, divisórias leves e materiais não resistentes ao fogo, pois não se pensava em técnicas construtivas, materiais ou soluções arquitetônicas adequadas para cada tipo de edificação para evitar a propagação do fogo.

Neste cenário, a própria cidade de São Paulo atualizou sua legislação de obras do município, uma semana após o incêndio no Edifício Joelma. O Estado do Rio de Janeiro criou o primeiro Código Contra Incêndio e Pânico (COSCIP) do Brasil. Diferentemente ao caso dos Estados Unidos da América, onde uma empresa que cuidava apenas de seguro patrimonial se tornou a maior autoridade mundial em normas sobre combate a incêndio em edificações com



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



diretrizes bem apuradas e atualizadas, causando o surgimento dos handbooks da NFPA, voltados para salvar vidas. No Brasil, a União ficou responsável pelas legislações de segurança contra incêndios, ficando a cargo de cada estado o seu Código Contra Incêndio e Pânico através do Corpo de Bombeiros Militar, da Associação Nacional de Proteção Contra Incêndio (NFPA's), NFPA 15, NFPA 16, NFPA 20 e NFPA 22 e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através das NBR's 17505:2015, 10897:2020 e 16704:2020, estas últimas sendo usadas na ausência das Instruções e Normativas Técnica do CBMMA, NT-22/2021 e NT-25/2021.

Dessa forma, ciente da real importância de um sistema de prevenção e combate a incêndio eficaz em uma situação de emergência, e, considerando a complexidade e relevância do tema, o presente trabalho propõe realizar um projeto do Sistema de Combate a Incêndio da área de armazenamento de combustíveis e produtos inflamáveis do Terminal Ferroviário de uma determinada Mineradora, que atua no estado do Maranhão. Essa escolha se dá por ser uma área de relevância no andamento das atividades da mesma e pela grande quantidade de funcionários que nela transita. Assim, inicialmente serão avaliadas as instalações, e em seguida, será desenvolvido um projeto de combate a incêndio atendendo às exigências do código em vigor.

A área de tancagem do Terminal Ferroviário se encontra, atualmente, com um Sistema de Combate a Incêndio defasado e que está com problemas de corrosão, com muitos equipamentos danificados, e que ainda passou por uma ampliação recente, onde foram instalados dois novos grandes tanques de combustível. Com isso, o volume de combustíveis e inflamáveis armazenados aumentou consideravelmente, e necessita, portanto, de um novo sistema de Combate a Incêndio que atenda às leis vigentes e os requisitos internos da Mineradora. Entretanto, a fim de reduzir os custos de implantação (Capex) e operação (Opex), será estudado e analisado o aproveitamento de algumas tubulações existentes na rede atual, analisadas a partir de inspeções e análises. Complementando, também foram analisadas as bombas de incêndio e o reservatório de água que serão apresentados ao longo do trabalho.

### 1.1. Justificativa

O sistema de Combate a Incêndio do Terminal Ferroviário foi implantado na década de 80, no início da operação da Mineradora no Estado, com a implantação e construção da Oficina Central e Ferrovia. As instalações do Terminal Ferroviário, após as ampliações, ocupam uma área de mais de 60.000,00 m<sup>2</sup> e possuem capacidade de abastecer e realizar o ciclo de manutenções em mais de 16 mil vagões e 220 locomotivas.

Como já citado anteriormente, a malha hidráulica de incêndio do Terminal Ferroviário encontra-se com problemas como vazamentos e danos por corrosão na tubulação, além de alguns aparelhos danificados devido à falta de manutenção. A figura 1.1 evidencia um hidrante danificado na área interna da oficina.



Figura 1.1 – Pontos de corrosão em hidrantes da Ferrovia. (Autores, 2021)

Portanto, é notório que a área de Tancagem de Combustíveis necessita de um novo sistema de combate a incêndio seguro e que, para fins de redução de custos, seja interligado à rede hidráulica de combate a incêndio já existente na Ferrovia.



## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo geral

Este projeto de conclusão de curso tem como principal objetivo desenvolver e projetar um Sistema de Combate a Incêndio para uma área de armazenagem de combustíveis e inflamáveis (Tancagem de Combustíveis), realizando uma análise hidráulica, utilizando softwares especializados em cálculos de dinâmica dos fluidos e termodinâmica, e projetando equipamentos de proteção e segurança de acordo com as normas nacionais, internacionais vigentes e os requisitos e exigências da mineradora e sua seguradora.

### 1.2.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho de conclusão de curso são:

- Classificar a área e as edificações;
- Analisar os cenários críticos de incêndio;
- Identificar os sistemas fixos de combate a incêndio;
- Modelar e simular hidráulicamente a rede de incêndio de tubulação através do software AFT Fathom;
- Desenvolver uma sequência de procedimentos para o cálculo hidráulico, que seja referência no dimensionamento de projetos com sistemas hidráulicos de combate a incêndio;
- Avaliar equipamentos;
- Adequar o sistema às normas técnicas vigentes;
- Dimensionar os dispositivos de proteção e segurança contra incêndio.





UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



### 1.3. Estrutura do Trabalho

O presente trabalho foi dividido em 7 capítulos com o objetivo de facilitar o processo de entendimento do assunto, e melhor apresentar as ideias e soluções propostas.

O capítulo **INTRODUÇÃO** faz uma breve abordagem acerca dos incêndios históricos e sua importância para a evolução das leis e normas de segurança contra incêndio.

O **REFERENCIAL TEÓRICO** mostra uma visão geral acerca do assunto Segurança Contra Incêndio, dos conceitos de fogo, calor, combustão, transferência de calor, incêndio, fases do incêndio, tipos de incêndios, classes de incêndio, carga de incêndio. Destaque para o apanhado geral sobre as legislações no âmbito federal e estadual, as normativas internacionais e os padrões internos da mineradora.

Na **DESCRIÇÃO DO PROBLEMA, DEMONSTRAÇÃO DA ÁREA E APRESENTAÇÃO DOS DADOS**, o objeto de estudo é analisado desde a sua primeira fase até as instalações de SPCI atuais.

No capítulo **METODOLOGIA**, tem-se a descrição dos procedimentos necessários para a elaboração do projeto.

Em seguida, no **DESENVOLVIMENTO**, será realizado o dimensionamento das instalações, aplicação de sistemas de espumas, hidrantes e chuveiros automáticos, verificação de tubulações e equipamentos, além de serem apresentados cálculos e equações, utilizados para alcançar a realização do projeto proposto.

O capítulo **RESULTADOS E DISCUSSÕES** demonstra os resultados obtidos durante a realização do projeto, fazendo a devida comparação com a abordagem realizada no referencial teórico.

Já o capítulo **CONCLUSÃO**, apresenta uma síntese geral do trabalho, cruzando os objetivos propostos com os resultados encontrados, e conclui a análise, gerando assim, uma reflexão sobre o tema.



## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo, será tratada a história do combate a incêndios, assim como eventos ocorridos que tornaram possível a evolução e o estudo nessa área, ocasionando a criação de órgãos regulamentadores e normas específicas. Além disso, serão apresentados fenômenos de combustão e transferência de calor, fases do incêndio, tipos de incêndios, classes de incêndio, carga de incêndio, métodos de extinção de incêndios, agentes extintores, sistemas e equipamentos de combate a incêndio, e seus tipos mais comumente utilizados pela indústria. Juntamente com as demonstrações dos sistemas, será feita uma explanação e apanhado sobre as normas e as leis de segurança contra incêndios, suas partes constituintes e seus padrões de uso.

### 2.1. Sistema de Segurança Contra Incêndio

De acordo com Gill, Oliveira e Negrisoló (2008, p. 22), as medidas de proteção contra incêndios se resumem em 3 principais etapas: **prevenção**, na qual consiste no controle dos materiais combustíveis e das fontes de calor, e em treinamento de pessoas, de forma a desenvolverem hábitos e atitudes preventivas; como medidas que dificultam a propagação do fogo e mantêm a estabilidade da edificação; **combate**, abrangendo recursos humanos e materiais usados para extinguir incêndios; meios de escape e fuga, integrados por medidas de proteção ativas e passivas, que possibilitam, inclusive, o acesso à edificação pelas equipes de resposta; **gerenciamento**, que abrange a manutenção dos sistemas e a administração da resposta às emergências.

Segundo Berto (1991), os sistemas de segurança contra incêndio devem propiciar meios para a extinção inicial de focos de incêndio, o controle da propagação do fogo e controle da fumaça nas edificações e vizinhanças, a evacuação segura das pessoas, evitando pânico, além do combate e resgate rápido, eficiente e seguro. O quadro abaixo apresenta as medidas de segurança contra incêndio classificadas quanto a função.

Quadro 2.1 - Medidas de segurança contra incêndio classificadas quanto a função (Adaptado de Rodrigues, 2016)

Função	Medidas de segurança contra incêndio
Proteção Estrutural	Segurança estrutural em incêndio



	Compartimentação horizontal e vertical
	Controle de materiais e acabamentos
	Sistema de proteção contra descargas atmosféricas – SPDA
Meios de fuga	Iluminação de emergência
	Sinalização de emergência
	Saídas de emergência
	Controle de fumaça
	Plano de emergência
	Brigada de incêndio
Meios de alerta	Detecção e alarme de incêndio
Meios de combate ao incêndio	Extintores de incêndio
	Chuveiros automáticos
	Hidrantes e mangotinhos
	Hidrantes urbanos
	Acesso de viaturas de Bombeiros

Tanto as medidas de segurança preventivas como as protetivas devem estar adequadamente instaladas e satisfazer os requisitos de desempenho quanto a segurança, pelo órgão ou entidade responsável, independentemente da idade da edificação. O sistema de segurança contra incêndio precisa passar por vistorias e manutenções periódicas, a fim de garantir o seu perfeito funcionamento em caso de incêndio. (IBAPE, 2013).

## 2.2. Segurança Contra Incêndio no Brasil

Como já demonstrado na introdução, as tragédias geraram comoção nacional e, conseqüentemente, condições políticas para a elaboração e melhoria de leis, regulamentos e



normas mais rigorosas. O quadro abaixo descreve os maiores incêndios ocorridos no Brasil, nos últimos anos.

Quadro 2.2 - Maiores incêndios ocorridos no Brasil (Adaptado de Oliveira, Gill e Negrisolo, 2008).

<b>Incêndio</b>	<b>Local</b>	<b>Data</b>	<b>Impacto</b>	<b>Início da ignição</b>
Gran Circo Norte – Americano	Niterói - RJ	15/12/1961	503 mortos e 1000 feridos	Incêndio Criminoso
Edifício Andraus	São Paulo - SP	24/02/1972	16 mortos e 336 feridos	Sobrecarga do Sistema Elétrico
Edifício Joelma	São Paulo - SP	01/02/1974	188 mortos e 345 feridos	Curto-Circuito em Aparelho de Ar Condicionado
Lojas Renner	Porto Alegre - RS	27/04/1976	41 mortos e 60 feridos	Não definida
Edifício Grande Avenida	São Paulo - SP	14/02/1981	17 mortos e 51 feridos	Sobrecarga da Rede Elétrica
Vila Socó	Cubatão - SP	24/02/1984	93 mortos e 3 mil Desabrigados	Vazamento de Gasolina das Tubulações da Refinaria Presidente Bernardes, Madeira e Rede Elétrica Clandestina
Edifício Andorinha	Rio de Janeiro - RJ	17/02/1986	23 mortos e 40 feridos	Curto-Circuito no Sistema Elétrico



Creche Casinha da Emília	Uruguaiiana - RS	20/07/2000	12 mortos	Curto-Circuito em um Aquecedor
Show no Canecão Mineiro	Belo Horizonte - MG	24/11/2001	7 mortos e 300 feridos	Queima de Fogos no Palco
Teatro Cultura Artística	São Paulo - SP	17/08/2008	Sem mortos e feridos	Curto-Circuito
Boate Kiss	Santa Maria - RS	27/01/2013	242 mortos e centenas de feridos	Queima de Fogos no Palco
Mercado Público	Porto Alegre - RS	06/06/2013	Sem Mortos e Feridos	Sobrecarga Elétrica
Museu da Língua Portuguesa	São Paulo - SP	21/12/2015	1 morte	Troca de Lâmpada
Creche Gente Inocente	Janaúba - MG	05/10/2017	13 mortes e 40 feridos	Incêndio Criminoso Provocado Pelo Vigia
Museu Nacional	Rio de Janeiro - RJ	02/10/2018	Sem Mortos e Feridos, mas Destruiu um Acervo de 20 Milhões de Itens	Ainda não Foi Apurada. Provável Curto-Circuito

Entretanto, as mudanças mais significativas na segurança contra incêndio ocorreram após o incêndio da Boate Kiss, na cidade de Santa Maria/RS, ocorrido em 2013. Depois desse acontecimento, o assunto teve uma maior atenção do poder público e da comunidade sobre a necessidade da prevenção desse risco e da implantação de medidas eficazes para minimizar os



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



danos e os prejuízos, se apesar das precauções adotadas, o desastre não puder ser evitado. (JUS INCENDIOS URBANOS, 2021).

Atualmente, cada Estado da Federação dispõe de legislações, normas e regulamentos técnicos próprios e independentes, onde cabe ao Corpo de Bombeiros Militar e ao Estado, através do Secretário de Segurança Pública, instituir o Regulamento de Segurança Contra Incêndio e o Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico. Antes dos grandes incêndios e desastres acontecidos nas décadas de 70 e 80, existiam apenas algumas orientações gerais com uma regulamentação nacional presente apenas nos Códigos de Obras dos municípios, sem maiores exigências de implantação de medidas de segurança mínimas, de aprovação de projetos, e, além disso, as fiscalizações eram menos rigorosas. (Brentano, 2016).

Ademais, fica a cargo do Corpo de Bombeiros Militar, elaborar os documentos técnicos que normatizam os procedimentos administrativos, bem como medidas de segurança contra incêndios e emergências nas edificações e áreas de risco, assim como fiscaliza-las, certifica-las, notifica-las, avalia-las e emitir parecer técnico a respeito dos projetos de proteção contra incêndio.

## 2.3. Incêndio e Teoria Básica do Fogo

### 2.3.1. Fogo

Fogo é uma reação química que se processa entre materiais combustíveis (na forma sólida, líquida ou gasosa) ao se combinarem com comburentes (geralmente oxigênio) e ativados por um aumento de temperatura, através de uma fonte de calor (energia de ativação que faz com que os combustíveis entrem em pirólise), onde dão início a uma reação química produzindo despreendimento de luz e calor em forma de reação sustentável. (Becker, 2005, p. 5).

A oxidação ou combustão é um processo dinâmico, de reação contínua. Sistemas insaturados e desbalanceados contendo energia, procuram o equilíbrio natural através de reagentes, até chegarem a um nível mais baixo e menos ativo de energia. Durante este procedimento, liberam energia calorífica por meio do fogo e chamas. Os processos são iniciados por meio de uma fonte externa (calor), que

dá início à reação, após o que a propagação (chamas) continua, enquanto houver suprimento de energia (combustível) e um reagente (oxigênio) para a consumação e alcance de uma forma mais estável e de mais baixo nível energético (cinzas). (Silveira, 1976, p. 96).

### 2.3.2. Combustão

A primeira fase de todo incêndio é dada, inicialmente, com o processo de combustão. É definida como sendo uma reação química que transfere energia de um meio interior para um meio exterior, ou seja, um processo exotérmico. Com isso, há a liberação de luz e calor. Para que isso aconteça e se mantenha, são necessários quatro elementos: o combustível, o comburente, o calor e a reação em cadeia. Estes elementos podem ser representados pelo tetraedro do fogo.

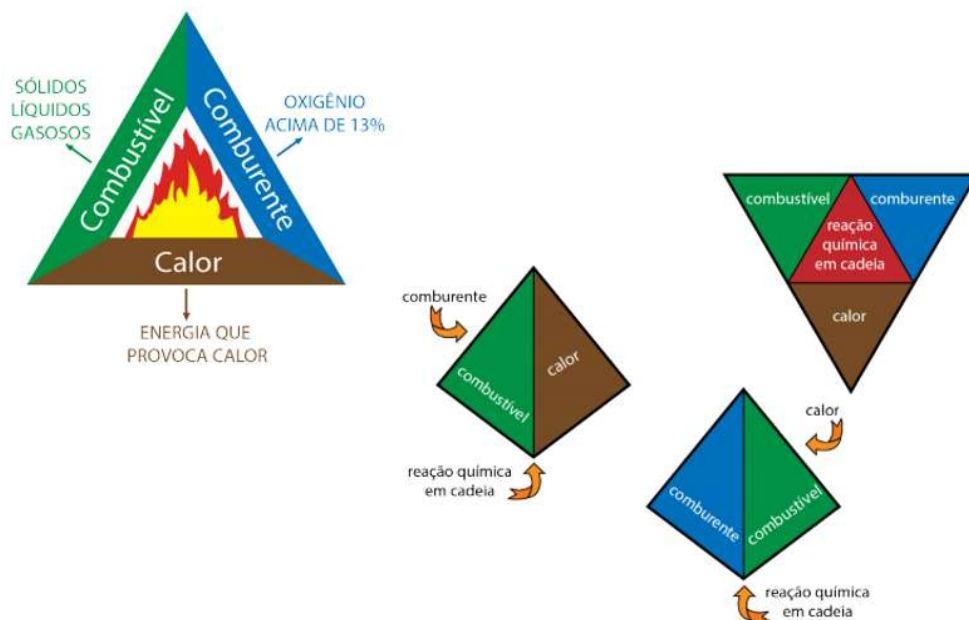


Figura 2.2 – Tetraedro do fogo (Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás, 2016)

O tetraedro do fogo é uma figura geométrica espacial que tem quatro lados e, para cada lado em forma de um triângulo, adota-se um dos elementos fundamentais para reação exotérmica.



### 2.3.3. Combustível

Para que ocorra um incêndio, é necessário, antes de tudo, ter-se uma substância que tenha a capacidade de queimar, essa substância recebe o título de combustível desde que seja consumida (podendo ou não ser altamente inflamável). Existem vários tipos de combustíveis e eles estão presentes nos mais diversos estados da matéria, como nos exemplos a seguir:

- A. Líquidos: Gasolina, álcool, óleo lubrificante.
- B. Sólidos: Parafina, Madeira, tecido.
- C. Gasosos: GLP, hidrogênio.

#### 2.3.3.1. Combustíveis Sólidos

Madeira, papel e tecidos, são alguns exemplos de combustíveis sólidos. Flores, Ornelas e Dias, explicam que:

[..] Na maioria dos casos, são os vapores emanados deles, após seu aquecimento, que se inflamam, no entanto, sólidos como o ferro, cobre, bronze e a parafina, quando aquecidos, tornam-se, previamente, líquidos para só então emanar os vapores que se inflamarão. (2016, p.23).

#### 2.3.3.2. Combustíveis Líquidos

De acordo com a NFPA (*National Fire Protection Association*), os combustíveis líquidos são classificados como inflamáveis quando o seu ponto de fulgor é inferior a 37,8 °C. Para pontos de fulgor superiores a esta temperatura, considera-se o líquido apenas como combustível.

Diferentemente dos combustíveis sólidos, os líquidos têm a particularidade de se queimarem em superfície, ou seja, seus vapores formam uma atmosfera explosiva, nas proximidades da superfície do líquido propiciando a combustão. Neste caso, a mistura entre ar e vapor é o que possibilitará a queima.

No geral, os líquidos inflamáveis são menos densos que a água, por isso, em contato com ela, se forma uma mistura heterogênea para solventes apolares (hidrocarbonetos).





Entretanto, há combustíveis com alta capacidade de se misturar com água, é o caso dos solventes polares (álcool, acetona), que oferecem maior risco e potencial ofensivo.

#### 2.3.3.3. Combustíveis Gasosos

Para que se inflamem, os combustíveis gasosos têm de se concentrar numa mistura ideal e cada gás tem seus próprios limites de inflamabilidade.

O gás que possui densidade maior que a do ar, tende a se acumular nos contornos da superfície e oferece um maior risco e potencial ofensivo, diferentemente do gás de menor densidade que o ar, pois este tende a se dissipar no ambiente e, portanto, oferecer um menor potencial ofensivo.

#### 2.3.4. Comburente

O oxigênio é o principal elemento com essa classificação, devido à sua grande presença na atmosfera. Resumidamente, definem-se como elementos ou compostos químicos capazes de provocar reações de oxidação e redução, que proporcionam o consumo do combustível na reação química exotérmica. Isso significa que não há o consumo de combustível sem esse componente e em casos de incêndio, por exemplo, conforme este se torna escasso, há a diminuição das chamas.

#### 2.3.5. Calor

No estudo da teoria do fogo, o calor é aquele que proporciona o início da combustão e é capaz de propagar a reação entre o comburente e o combustível, baseando-se no princípio estabelecido pela Lei Zero da Termodinâmica, que prevê o equilíbrio térmico entre dois corpos, no qual o calor é transferido do mais quente para o mais frio.

Calor é a transferência de energia devido a uma diferença de temperatura. É a energia térmica em movimento que se transporta de uma região mais quente para uma região mais fria, obedecendo à 1ª Lei da Termodinâmica (princípio da conservação da energia), na qual os materiais tendem a alcançar o equilíbrio térmico. (CARVALHO, Ricardo et al., 2009).

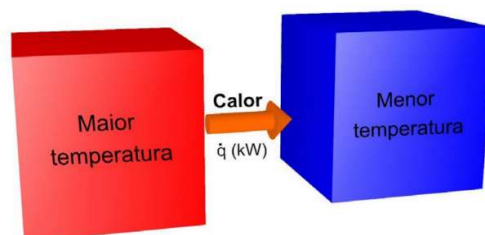


Figura 2.3 – Transferência de calor (Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, 2ªed: 2009)

### 2.3.6. Reação em cadeia

A reação em cadeia é um fenômeno que vem sendo estudado recentemente e demonstra a capacidade da combustão, em um certo ponto, manter-se autossustentável, pois o calor irradiado das chamas promove a decomposição do combustível em partículas que se combinam ao comburente e queimam, irradiando calor e fechando um ciclo, que define a reação em cadeia.

### 2.3.7. Propagação do calor

O calor em sua definição mais primitiva é uma energia em fluxo, que gera uma variação de temperatura em determinado objeto ou ambiente. Essa propagação pode ocorrer por meio de três processos: condução, convecção e radiação.

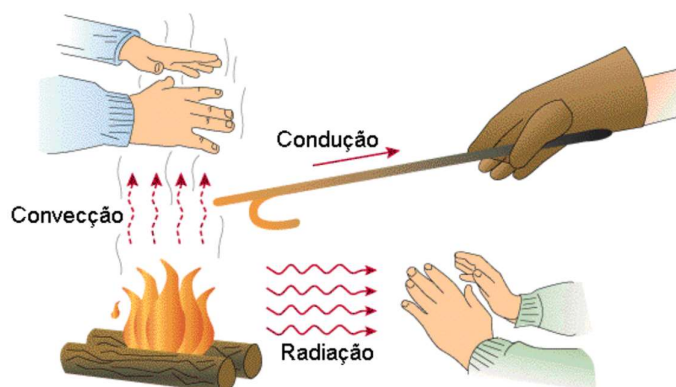


Figura 2.4 – Formas de Transferência de calor (CBMDF, 2009)

#### 2.3.7.1. Condução

A condução pode ocorrer em meios sólidos, líquidos e gasosos. Seu método de transferência de calor ocorre com a vibração dos átomos, que é transferido aos seus adjacentes excitando-os. A energia térmica é conduzida pelo movimento randômico das moléculas em um gás, ou por elétrons livres em sólidos metálicos.



### 2.3.7.2. Convecção

A convecção é o transporte da energia térmica a nível macroscópico e pode ocorrer de duas maneiras, natural ou forçada. A convecção natural ocorre por meio da diferença da densidade do fluido referente a maneira que suas temperaturas se apresentam, visto que um mesmo fluido com temperatura menor tem sua densidade maior que o mesmo fluido com temperatura maior. Já a convecção forçada, ocorre por meio de algum agente externo, como uma geladeira, que funciona por meio de motores elétricos e trocadores de calor.

### 2.3.7.3. Irradiação ou radiação térmica

É a transmissão do calor por meio de ondas eletromagnéticas através do espaço. A irradiação é a única forma de propagação de calor no vácuo, visto que todos os outros métodos precisam de matéria para que possam transferir sua energia. É dessa maneira que ocorre a transmissão de calor do sol para a terra, através das ondas provenientes dos raios solares.

### 2.3.8. Pontos e Temperaturas

A combustão ocorre quando os combustíveis são transformados pelo calor, e após esta transformação os possibilita se combinarem com o comburente. Essa transformação se desenvolve em temperaturas diferentes para cada combustível, à medida que o combustível vai sendo aquecido.

#### 2.3.8.1. Ponto de Fulgor

Quando um determinado combustível é aquecido, chega-se a uma temperatura em que o material começa a liberar vapor em quantidade suficiente para que, na presença de uma fonte externa de calor, se inflame. Conceitua-se assim o Ponto de Fulgor. No entanto, se for retirada a fonte de calor, ao chegar à referida temperatura as chamas não se mantêm, devido à pequena quantidade de vapores desprendida.

#### 2.3.8.2. Ponto de Combustão

Ao continuar aquecendo o mesmo combustível, atinge-se um ponto de temperatura em que o material começa a liberar vapores em quantidade suficiente para que, na presença de uma fonte externa de calor, se inflamem e continuem inflamando/queimando mesmo sem o auxílio da fonte externa de calor.



#### 2.3.8.3. Ponto de Ignição

Prosseguindo com o aquecimento do combustível, atinge-se um ponto de temperatura no qual este começa a desprender vapores em quantidade suficiente para que, exposto ao comburente, entre em combustão independentemente da existência de uma fonte externa de calor.

#### 2.3.9. Métodos de extinção do fogo

Para se iniciar um projeto de combate a incêndio, faz-se necessário, primeiramente, conhecer alguns métodos disponíveis para a contenção do fogo.

Levando-se em conta o “Tetraedro do Fogo” e seus componentes, os métodos de extinção de incêndio baseiam-se na eliminação de um ou mais dos elementos que compõem o fogo. Didaticamente, se um dos lados do “tetraedro” for quebrado, eis que a combustão será extinta. (Flores, Ornelas e Dias, 2016, p. 19).

##### 2.3.9.1. Resfriamento

O agente mais utilizado nesse método é a água e certamente é a forma mais conhecida e utilizada de se conter o fogo. O resfriamento consiste em diminuir a temperatura do combustível visando diminuir a evasão de mais gases inflamáveis.

##### 2.3.9.2. Abafamento

O abafamento consiste em eliminar outro elemento do tetraedro, o comburente. Podem ser utilizados diversos agentes extintores para esse fim, como: Espumas, vapor d’água, areia, entre outras formas que evite a ação desse elemento.

##### 2.3.9.3. Isolamento

A forma mais simples de combater um incêndio, o isolamento se resume a evitar o contato físico entre o combustível que queima do combustível que ainda não foi consumido. Essa separação pode ser por meio do fechamento de alguma válvula ou pela separação do combustível mais inflamável, por exemplo.



#### 2.3.9.4. Quebra da reação em cadeia

Ocorre ao adicionar substâncias que inibem a capacidade reativa do combustível com o comburente, pois, ao sofrer a ação do calor, essas substâncias reagem quimicamente e alteram a inflamabilidade do combustível.

Nesse caso, esse método só funcionará quando já estiver em chamas, pois a extinção química ocorrerá quando o comburente não tiver mais a capacidade de reagir com os vapores combustíveis.

#### 2.3.10. Classes de Incêndio

A NFPA, com o objetivo de agrupar os incêndios pelas propriedades e características dos materiais envolvidos (combustíveis), e tornar seu combate e extinção mais eficiente e seguro, elaborou uma classificação de incêndios que os divide em quatro classes e é adotada por grande parte dos Corpos de Bombeiros Militares do Brasil. São elas:

- Classe “A”: Combustíveis sólidos;
- Classe “B”: Combustíveis líquidos;
- Classe “C”: Equipamentos energizados;
- Classe “D”: Metais pirofóricos;
- Classe “K”: Óleos e gorduras;

##### 2.3.10.1. Classe “A”

São os incêndios ocorridos em combustíveis fibrosos ou sólidos, tais como madeira, papel, plástico e borracha. Queimam em razão do seu volume, isto é, em superfície, profundidade e largura. Esse tipo de combustível deixa resíduos após sua queima (cinzas ou brasas). O método de combate e extinção indicado para este tipo de incêndio é o resfriamento através da utilização de água.

##### 2.3.10.2. Classe “B”

Esta classe engloba os incêndios ocorridos em líquidos e gases combustíveis. Esses materiais queimam em superfície e não deixam resíduos provenientes de sua queima. Os métodos de combate e extinção indicados são: o abafamento (espumas) e a quebra da reação



em cadeia (pós), mas quando se trata de gases, o mais indicado é o isolamento, promovendo a retirada ou controle do material combustível.

#### 2.3.10.3. Classe “C”

São os incêndios que atingem materiais submetidos à energia elétrica. Oferecem alto risco à vida durante a ação de combate, devido a presença de tensão e corrente elétrica. Quando desconectado da sua fonte de energia, se não houver nenhuma bateria interna ou dispositivo que mantenha energia, pode ser tratado como incêndio em classe A ou classe B. Mas, caso haja equipamentos que mantenham a energia elétrica ainda que esteja desligado de uma fonte de energia, os procedimentos de extinção a serem tomados são os prescritos para a classe C.

A extinção pode ser realizada por agentes extintores que não conduzam eletricidade, ficando vetados a água e o gás carbônico.

#### 2.3.10.4. Classe “D”

São os incêndios ocorridos em metais pirofóricos ou metais combustíveis (na sua maioria alcalinos). Queimam de forma violenta, com elevada irradiação de luz e calor, e é impossível de se utilizar água como agente extintor, ou como parte dele, por isso são muito difíceis de serem apagados. O fogo proveniente desta queima exige pós especiais para sua extinção, que atuarão por abafamento e quebra da reação em cadeia.

#### 2.3.10.5. Classe “K”

São os incêndios em banha, gordura e óleos voltados ao cozimento de alimentos. Ocorre em cozinhas quando são aquecidos, portanto, é uma classe de muita periculosidade. A extinção jamais deve ser realizada com água, pois essa classe reage perigosamente com essa substância, gerando explosões e ferindo quem estiver próximo. O método mais indicado de combater o sinistro nessa classe é através do abafamento.

#### 2.3.11. Etapas do Incêndio

O incêndio pode ser dividido em três etapas ou fases de desenvolvimento, são elas:

### 2.3.11.1. Fase de Ignição

Trata-se da fase inicial do processo. É a etapa em que grande parte do calor está sendo consumido no aquecimento dos combustíveis. A temperatura do ambiente, neste estágio, não está ainda muito acima do normal, mas o calor que está sendo gerado evoluirá com o aumento das chamas.

Neste estágio o oxigênio do ambiente ainda não está muito reduzido. Enquanto está nessa fase, é possível buscar a causa do incêndio e tentar cessá-lo.

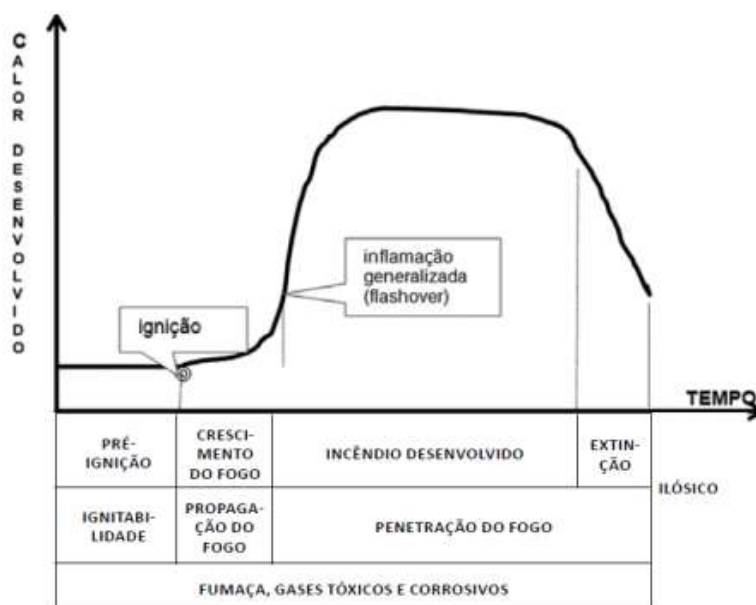


Figura 2.5 – Curva de evolução do incêndio celulósico (Seito et al. 2008)

### 2.3.11.2. Fase da Propagação

Neste estágio, as chamas se espalham pelo ambiente, consumindo os materiais que encontram no caminho. No entanto, outros materiais ou substâncias ajudam a retardar a propagação, como o cimento e o concreto.

Segundo o Manual Básico de Combate a Incêndio do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, o início da fase crescente do incêndio, abrange a incubação do incêndio. Em incêndios confinados, à medida que a combustão progride, a parte mais alta do ambiente (nível do teto) é preenchida, por convecção, com fumaça e gases quentes gerados pela combustão.

O volume das chamas aumenta e a concentração de oxigênio começa a baixar para aproximadamente 20%. A propagação dependerá muito da quantidade e forma do material



combustível no ambiente. No início dessa fase, a temperatura ainda não é muito alta, mas há um aumento exponencial na quantidade de liberação de calor em um curto período de tempo, fazendo com que todos os materiais presentes no ambiente venham a sofrer pirólise. No final dessa fase, todos os materiais presentes no ambiente atingirão seu ponto de ignição, imergindo o ambiente inteiro em chamas, também conhecido como *flashover*. O calor se espalha para cima e para fora do combustível inicial por convecção e condução.

#### 2.3.11.3. Fase da Queima Livre ou Combustão Contínua

Nesta etapa acontece a reação em cadeia, pois o calor liberado pelas chamas se torna suficiente e capaz de provocar a combustão em objetos próximos e enquanto existir combustível e comburente, este processo continuará ocorrendo.

Segundo Flores, Ornelas e Dias, esse estágio do incêndio é:

[...] a fase em que o ar, em virtude do suprimento de oxigênio, é conduzido para dentro do ambiente pelo efeito da pressão negativa provocada pela convecção, ou seja, o ar quente é expulso do ambiente para que ocupe lugares mais altos, enquanto o ar frio é “puxado” para dentro, passando pelas aberturas nos pontos mais baixos do ambiente. (2016, p.16).

De acordo com o Manual Básico de Combate a Incêndio do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, o acúmulo de fumaça e gases quentes é intensificado. A concentração de oxigênio baixa para 18%, com grandes diferenças entre os níveis do piso e do teto. Enquanto no piso a concentração de oxigênio é quase normal e a temperatura ainda é confortável, no teto a camada de gás combustível e temperatura aumentam rapidamente.

#### 2.3.11.4. Fase da Queima Lenta ou Redução

Neste estágio, o consumo das fases anteriores faz com que o calor liberado não seja mais suficiente para alimentar a reação em cadeia, pois torna o comburente insuficiente para manter a combustão contínua. As chamas tendem a diminuir e buscar oxigênio disponível por qualquer abertura. A concentração de oxigênio baixa para 16%. Se a concentração baixar para 15% ou menos, as chamas extinguir-se-ão, permanecendo somente brasas.





Portanto, caso não haja suprimento de comburente (ventilação), as chamas deixarão de existir e o fogo será reduzido a brasas.

Quadro 2.3 - Características das fases de um incêndio (CARVALHO, Ricardo et al., 2009)

Fases do Incêndio			
Fase Inicial	Fase Crescente	Fase Totalmente Desenvolvida	Fase Final
<ul style="list-style-type: none"> <li>• chamas restritas ao foco inicial;</li> <li>• combustível "ilimitado";</li> <li>• oxigênio em abundância;</li> <li>• temperatura ambiente;</li> <li>• duração de curto espaço de tempo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• chamas se propagando para os materiais próximos;</li> <li>• combustível ainda em abundância;</li> <li>• diminuição da quantidade de oxigênio;</li> <li>• aumento exponencial da temperatura;</li> <li>• ascensão da massa gasosa por ação da convecção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• generalização do incêndio, com a ignição de todos os materiais presentes no ambiente;</li> <li>• combustível limitado;</li> <li>• oxigênio restrito e diminuindo;</li> <li>• grandes diferenças de temperatura entre o teto e o piso;</li> <li>• calor irradiado do teto em direção ao piso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• diminuição ou extinção das chamas;</li> <li>• combustível não disponível;</li> <li>• baixa concentração de oxigênio;</li> <li>• temperatura muito alta, diminuindo lentamente;</li> <li>• presença de muita fumaça e incandescência;</li> <li>• risco de ignição da fumaça se injetado ar no ambiente.</li> </ul>

## 2.4. Agentes extintores

Os agentes extintores são substâncias produzidas ou presentes na natureza que podem auxiliar nesse combate, pois promovem a quebra do tetraedro do fogo, estando dessa forma, presente em um dos métodos de controle do fogo.

Portanto, para que haja maior conhecimento das substâncias e equipamentos de combate a incêndios, serão demonstrados os principais agentes extintores e suas respectivas atribuições.

### 2.4.1. Água

Agente extintor mais conhecido e aplicado, a água é aplicável de maneira eficaz em incêndios classe A e possui grande facilidade no transporte e baixo custo em sua obtenção. Suas propriedades garantem a larga escala de sua utilização para combate de sinistros, dentre as quais pode-se evidenciar:

- Elevado grau de expansão: ocupa o meio e evita o comburente;



- Alta tensão superficial: é deficiente em relação a certos tipos de agentes extintores, pois a força de atração entre as moléculas atrapalha o escoamento por toda a superfície em chamas;
- Alta capacidade de absorver calor: possui calor específico de  $1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ ;
- Condutibilidade Elétrica: os sais minerais presentes na água incentivam a passagem de corrente elétrica, portanto, não é aconselhado utilizar esse agente extintor para incêndios elétricos.

#### 2.4.2. Pós químicos:

Segundo o manual de bombeiros do estado do Goiás, (Flores, Ornelas e Dias, 2016), os pós químicos são compostos de pós de pequenas partículas, geralmente de Bicarbonato de Sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ), Bicarbonato de Potássio ( $\text{KHCO}_3$ ), Uréia-Bicarbonato de Potássio ( $\text{KC}_2\text{N}_2\text{H}_3\text{O}_3$ ), Cloreto de Potássio ( $\text{KCl}$ ) ou Fosfato de Amônia ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ). O pó químico A é composto de Fosfato monoamônico, conhecido também por pó químico ABC. O pó químico B e C são compostos por bicarbonato de sódio. A aplicação dos pós químicos se dá utilizando algum mecanismo para expeli-lo (geralmente um extintor) e sua atuação funciona por meio dos seguintes meios:

##### 2.4.2.1. Abafamento

O calor das chamas causará decomposição térmica do pó liberando  $\text{CO}_2$  e vapor de água que ocuparão o espaço ocupado pelo comburente.

##### 2.4.2.2. Resfriamento

Ocorre pela absorção do calor pelo pó.

##### 2.4.2.3. Quebra da reação em cadeia

A principal propriedade extintora do pó-químico é evitar o aumento da concentração de íons, evitando as reações posteriores, pois os átomos tem suas camadas de valência preenchidas e não reagem, o que diminui as chances de reagir com o comburente e diminuir as chamas.

##### 2.4.2.4. Proteção contra irradiação do calor

Aumenta a opacidade do meio e dificulta a irradiação do calor.



#### 2.4.3. Gás Carbônico

O Dióxido de Carbono é um gás incolor, inodoro e eletricamente não condutivo, que atua na extinção de incêndios mediante a criação temporária de uma atmosfera inerte, reduzindo a concentração de comburente, na área onde é aplicado, para níveis inferiores a 15% inibindo assim, a possibilidade de combustão da maioria dos materiais.

Com isso, seu funcionamento funciona essencialmente por abafamento e tem a grande vantagem de se dissipar naturalmente, sem deixar resíduos. É recomendada em situações que tenham equipamentos eletrônicos e materiais eletrificados por não ter qualquer interação e não tornar o ambiente úmido, como no caso da água.

#### 2.4.4. Espumas

As espumas são mais eficazes como método de supressão do fogo em combustíveis líquidos por serem menos densas e permanecerem mais tempo no combustível, assumindo então, o papel de resfriar e separar a substância do comburente.

De certa forma, é uma massa de bolhas pequenas de densidade menor que a da água e que a maioria dos líquidos inflamáveis. Trata-se de um agente produzido através da mistura do ar com uma solução que contém água e espuma mecânica, formada a partir da mistura com o LGE (Líquido gerador de espuma), substância similar a um detergente líquido concentrado.

Sua aplicação tem inúmeras variações, podendo ser por meio de aspersores, tubulações aéreas, mangueiras, torres de dispersão, com sistemas fixos ou móveis que fluam para o meio em chamas. São aplicados sempre visando ambientes com potencial de vazamento de líquidos inflamáveis.

As espumas mecânicas formam um colchão estável por um determinado tempo e, quando aplicadas a taxas adequadas, possuem a capacidade de extinguir um incêndio gradativamente. Com a aplicação contínua, a espuma flui facilmente através da superfície em chamas formando uma camada densa, prevenindo a reiguição na superfície já extinta. (ZACCARO, Roberto. A Espuma para combate a Incêndios, 2019).

Segundo a publicação do Departamento de *Risk Engineering* da Zurich Brasil Seguros S.A. Edição Digital nº 01 - atualizada em agosto de 2012, vale frisar que a utilização de espuma não é recomendada para incêndios com bissulfeto de carbono e éter. Por apresentar um ponto de ebulição muito baixo, os vapores desses materiais podem atravessar a espuma e continuar queimando sobre ela.

#### 2.4.4.1. Atuação da Espuma

Como já citado anteriormente, as espumas combatem o incêndio por meio do abafamento e pelo resfriamento. Os fatores que auxiliam nessas ações são: a exclusão do ar dos vapores inflamáveis e a eliminação dos vapores das superfícies do combustível, conforme demonstrado na figura 2.6.

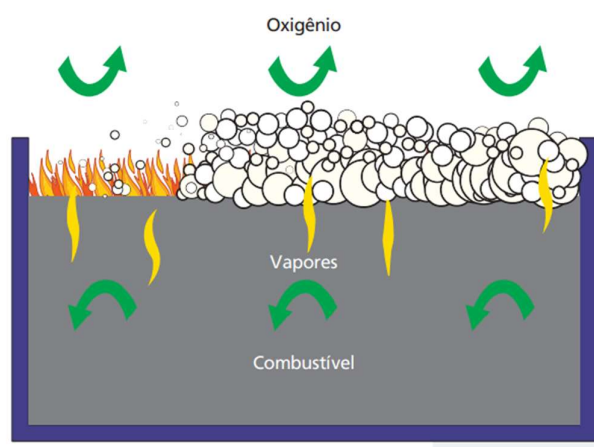


Figura 2.6 – Atuação da espuma (Kidde, 2005)

#### 2.4.4.2. Taxa de Expansão da Espuma

O comportamento da expansão realizada após a mistura entre LGE, água e ar, ocorre pela significativa queda de pressão, causando o aumento em seu volume e, conseqüentemente, cobrindo mais área. Portanto, o pleno entendimento desse fenômeno permite uma maior eficácia no combate a incêndios e visando enfatizar sua importância, é feito seu uso de acordo com o Quadro 2.4.



Quadro 2.4 - Classificação da expansividade da espuma (Autores, 2021)

CLASSIFICAÇÃO	TAXA DE EXPANSIVIDADE
BAIXA EXPANSÃO	ATÉ 20 VEZES
MÉDIA EXPANSÃO	20 A 200 VEZES
ALTA EXPANSÃO	MAIS DE 200 VEZES

A espuma de alta expansão é obtida quando há a utilização de um LGE de alta expansão combinado a um esguicho também de alta expansão, podendo ter proporções acima de 200:1 até 1000:1 (quando acoplados a geradores de espuma). Esse tipo de espuma pode ser misturado tanto a água doce como salgada e é bem suave, com ótima fluidez e estabilidade, o que permite uma boa aderência. Alguns pontos podem afetar a qualidade da espuma, como a temperatura (deve permanecer abaixo dos 32°C) e a maneira que o ar é aspirado na mistura. É muito importante a garantia de que não há fumaça e gases provenientes da combustão entrando no sistema, pois os mesmos alteram a concentração e a pureza da mistura.

Outro fator importante no combate a incêndio, com a utilização de espumas de alta expansão, é a ventilação, que cumpre o papel de manter o fluxo da espuma de alta expansão e deve ser realizada no sentido oposto ao do gerador de alta expansão, sem esse auxílio, não haveria a adequada aplicação da camada de espuma. Dentre as várias vantagens das espumas mecânicas, ainda pode ser ressaltada a sua capacidade de flutuar pelo fluido por conta de sua baixa densidade, podendo percorrer maiores distâncias ao flutuar no líquido e atuar em uma superfície maior.

#### 2.4.4.3. Aspectos das Espumas

A espuma possui algumas características que definem a eficiência a qual agirá sobre o incêndio, ou seja, estas irão definir justamente o sucesso da extinção do mesmo.

- Velocidade de extinção: tempo necessário para a espuma se espalhar e formar uma cobertura sobre o combustível, passando por obstáculos, até conseguir a extinção total do fogo;
- Resistência ao calor;
- Resistência ao combustível: de forma que não fique saturada ou queimada;



- Capacidade de contenção dos gases: define o quanto a cobertura de espuma evita o transpassar dos gases e, conseqüentemente, a reignição da queima.

#### 2.4.4.4. Pontos no uso da Espuma

Segundo o guia de espumas para bombeiros e brigadistas (Kidde, 2005), deve-se atentar para os seguintes pontos no uso da espuma:

##### A. Temperatura da água, contaminantes

Espumas, em geral, são mais estáveis quando geradas com água à baixas temperaturas. Embora todos os concentrados funcionem com água com temperaturas acima de 37°C, é preferível que essa temperatura esteja entre 1°C a 27°C. Tanto a água doce quanto a salgada podem ser usadas. Água contendo contaminantes como detergente, resíduos de óleo ou certos inibidores de corrosão podem afetar a qualidade da espuma.

##### B. Pressão da água

A pressão do esguicho deve ser suficiente para que o alcance do jato possa combater o incêndio e o operador fique de certa forma protegido. Se um proporcionador for usado, sua pressão não deve exceder 14 kgf/cm<sup>2</sup>. A qualidade da espuma cai se submetida a altas pressões.

##### C. Incêndios causados pela eletricidade

A espuma deve ser considerada como se fosse água quando usada em incêndios causados pela eletricidade, e geralmente, seu uso não é recomendado.

##### D. Derramamento de Líquidos Inflamáveis

Onde houver derramamento de líquidos inflamáveis, o incêndio pode ser prevenido aplicando-se uma camada de espuma sobre a área afetada. Com o tempo, pode ser necessário aplicar mais espuma para manter a cobertura expandida, até que a área com o líquido inflamável esteja limpa.

##### E. Líquidos Voláteis

Recomenda-se não usar espuma em materiais que sejam armazenados como líquidos, que em condições ambientes são gasosos, como o propano ou butadieno. Também não é



recomendado que seja usada em materiais que reajam com a água, como o magnésio, potássio, lítio, cálcio, zircônio, sódio e zinco.

#### 2.4.4.5. Tipos de LGE

- LGE Proteínico

Elaborado à base de proteína animal, é utilizado apenas em combustíveis que possuem hidrocarbonetos em sua estrutura molecular, pois produz uma cobertura de espuma estável e homogênea, que tem uma grande resistência ao calor e uma drenagem mais eficaz.

- LGE Fluorproteínico

O concentrado proteínico é misturado a surfactantes fluorquímicos com a intenção de emulsionar as substâncias e obter uma melhor fluidez. Além disso, é obtido maior poder de extinção e uma boa contenção de temperatura, e resistência a uma possível reignição das chamas se comparado ao LGE Proteínico. No entanto, o LGE Fluorproteínico necessita de uma boa aspiração e não deve ser utilizado em esguichos que não contemplem desse fenômeno.

- LGE Fluorproteínico com Formação de Filme (FFFP)

É produzido similar ao anterior, mas se diferencia por possuir a propriedade de manter um filme aquoso que permite o resfriamento do combustível e suprime o escape dos vapores e gases inflamáveis. Foi elaborado visando uma rápida extinção a incêndios provenientes dos hidrocarbonetos, pois a pequena película aquosa tem uma boa capacidade de se espalhar pelo combustível, além de resfriar e abafar.

#### 2.4.4.6. Dosagem das Espumas

Para que haja a formação da espuma, sabe-se que necessita também da aplicação de água e ar em concentrações específicas para cada caso. No entanto, os percentuais de dosagem são calculados tomando como base a quantidade de LGE dividido pela quantidade de água na mistura. Por exemplo, um concentrado de 3% para um volume de 200 litros de espuma levaria uma mistura de 6 litros de LGE para 194 litros de água.



Alguns produtos possuem dosagens múltiplas (espumas polivalentes), como nos exemplos citados no guia de espuma para bombeiros e brigadistas (Kidde, 2005): Um LGE 3% x 6% pode ser usado em combustíveis de hidrocarbonetos a 3% e em solventes polares a 6%.

As taxas de aplicação para incêndios se apresentam conforme o tipo do incêndio, de acordo com as normas da National Fire Protection Association (NFPA). Citado na NFPA 11 (espumas), serão listadas a seguir as recomendações de aplicação dos diferentes tipos de espuma disponíveis no mercado.

- Taxas de aplicação de espumas em incêndios de classe B

Os líquidos inflamáveis devem ser tratados separadamente entre combustíveis hidrocarbonetos e solventes polares por possuírem diferentes recomendações no que se refere a quantidade de espuma exigida.

- Taxas de aplicação de espumas em incêndios de classe B para hidrocarbonetos

A NFPA recomenda uma taxa de aplicação de 4,1 lpm de solução de espuma por metro quadrado de fogo usando LGE do tipo AFFF, e com o tempo mínimo de operação de 15 minutos.

Para deixar a explicação mais clara, o guia de espuma para bombeiros e brigadistas (Kidde, 2005) demonstra com um exemplo de uma área de 184 m<sup>2</sup> de gasolina comum queimando, com a possibilidade de utilizar um LGE Sintex AFFF 3% para combater o incêndio.

Para isso, é necessário inicialmente, calcular o volume de espuma necessário para apagar o fogo. De acordo com a NFPA, são necessários 4,1 lpm/m<sup>2</sup>, logo:

$$4,1 \frac{\text{lpm}}{\text{m}^2} \times 184\text{m}^2 = 754,4 \text{ lpm}$$

Concentração a 3%, diante disso, calcula-se a quantidade de LGE:

$$0,03 \times 754,4 = 22,632 \cong 23 \text{ lpm necessários de LGE}$$

Levando em consideração o tempo indicado de 15 minutos, tem-se:

$$23 \text{ lpm} \times 15 \text{ min} = 345 \cong 350 \text{ litros de LGE Sintex AFFF 3\%}$$





Fazendo uma regra de 3 simples:

$$3\% \text{ --- } 350 \text{ litros}$$

$$100\% \text{ --- } X \text{ litros}$$

$$X = 11.667 \text{ litros de espuma, aproximadamente}$$

Para calcular a quantidade de água necessária:

$$11.667 \text{ litros} - 350 \text{ litros} = 11.316 \text{ litros de água}$$

## 2.5. Carga de Incêndio

É a quantidade total de material combustível existente na edificação ou área passível de ser atingida pelo fogo, incluindo materiais de acabamento e decoração, expressos em unidades de calor. (CARVALHO, Ricardo et al., 2009.)

Durante a realização do projeto de combate a incêndio, é necessário analisar a quantidade de material passível a entrar em combustão, ou seja, tudo aquilo que pode ser considerado combustível, podendo ser expresso em peso, ou unidade de calor equivalente, dando assim origem ao conceito de carga de incêndio.

Em um posto de combustível, por exemplo, deve-se contabilizar no cálculo da carga de incêndio os tanques de combustível, os veículos que se concentram no posto, bombas, dutos, dentre outros materiais que podem agir como combustíveis.

No entanto, para realizar o cálculo da carga de incêndio específica, (medida amplamente utilizada em materiais de corpo de bombeiros e NBR's), divide-se o valor da carga de incêndio pela área, obtendo assim um resultado em MJ/m<sup>2</sup>. A fórmula para o seu cálculo é:

$$q_{fi} = \frac{\sum M_i H_i}{A_f} \tag{2.1}$$

Sendo que:



$q_{fi}$ : É o valor da carga de incêndio específica, em MJ/m<sup>2</sup> de área de piso considerado para o cálculo.

$M_i$ : É a massa total de cada componente (i) do material combustível, em quilograma.

$H_i$ : É o potencial calorífico dos materiais combustíveis divididos por cada quilograma. Esse dado pode ser obtido por meio de uma tabela que contém os potenciais caloríficos dos materiais, sendo necessário apenas dividir pelos seus respectivos pesos dados em quilogramas.

$A_f$ : É a área do piso considerado para o cálculo, em m<sup>2</sup>.

Na tabela abaixo, estão disponibilizados alguns exemplos de recintos e suas respectivas cargas de incêndio específicas:

Tabela 2.1 - Exemplos de cargas de incêndio específicas típicas em alguns ambientes  
(Hadjisophocleous, G. V. e Richardson, 2005)

Tipo de ocupação	Carga de incêndio específica (MJ/m <sup>2</sup> )
Biblioteca	2.250
Escola	410
Hospital	440
Prisão	440
Residência	920
Quarto de hotel	460
Escritório	670
Loja de brinquedos	1.100
Loja de ferramenta	600

Em cada região, há a determinação por meio do Corpo de Bombeiros, do risco referente a uma área mediante sua carga de incêndio específica. A classificação quanto ao risco do Corpo de Bombeiros Militar do Maranhão é determinada pela seguinte tabela:

Tabela 2.2 - Classificação das edificações e áreas de risco quanto à carga de incêndio (NT-01/2021)

RISCO	CARGA DE INCÊNDIO ( $q_{fi}$ ) em MJ/m <sup>2</sup>
Baixo	$q_{fi} \leq 300$
Médio	$300 < q_{fi} \leq 1.200$
Alto	Acima de 1.200



## 2.6. Classificação de risco

Segundo Becker (2005. p. 41), esta classificação tem como objetivo principal a proteção da edificação em relação à quantidade de carga de incêndio, ao risco de inflamação dos materiais e/ou produtos contidos e as características de ocupação no ambiente através de um número adequado de chuveiros. Para efeito de dimensionamento do sistema, a classificação de riscos é utilizada para determinação da área a ser protegida. As instalações de chuveiros automáticos e seus abastecimentos de água seguem uma classificação de risco que será comentada, baseada na NBR 10897:2020.

### 1. Risco Leve

Compreende as ocupações isoladas, com volume ou combustibilidade do conteúdo, cuja as carga de incêndio são baixas.

### 2. Risco Ordinário

Compreende as ocupações isoladas, onde o volume ou combustibilidade do conteúdo (carga-incêndio) são médias, e subdivide-se em grupo I, II e III.

### 3. Risco Extraordinário

Constitui as ocupações isoladas, onde o volume e a combustibilidade do conteúdo carga-incêndio são altos e possibilitam um rápido desenvolvimento do incêndio e alta velocidade de liberação de calor, e subdivide-se em grupo I e II.

### 4. Risco Pesado

Constitui as ocupações ou parte das ocupações isoladas, comerciais ou industriais, onde se armazenam líquidos combustíveis, inflamáveis e produtos de alta combustibilidade, como borracha, papel e papelão, espumas celulares ou materiais comuns empilhados em alturas superiores a 3,7m.



## 2.7. Instalações e sistemas para Combate a Incêndios

### 2.7.1. Equipamentos associados ao combate a incêndio

Via de regra, a definição dos materiais e equipamentos a serem utilizados nas operações de combate e extinção do sinistro dependerá da classificação das edificações e áreas de riscos. Basicamente, esses materiais e equipamentos, que compõem o sistema de combate a incêndio, são:

- Hidrantes e ou Canhões monitores (geralmente, de 2 ½”, 4” e 6”);
- Mangueiras (geralmente, de 1 ½” e 2 ½”) e ou Mangotes;
- Esguichos ou bicos (ajustáveis, reguláveis, universais, agulheta, pistolas, canhões, lançadores de espuma e proporcionadores/ejetores de espuma);
- Chuveiros automáticos ou aspersores;
- Ferramentas (chaves de mangueira, de mangote e tipo “T”);
- Acessórios hidráulicos (divisores, coletores, redutores, adaptadores e tampões);

#### 2.7.1.1. Mangueiras de Incêndio

Mangueiras são equipamentos destinados a conduzir a água sob pressão, desde o hidrante até o local do incêndio, geralmente pressurizadas por bombas de incêndios ou através de desníveis geométricos.

Dependendo do tipo, são constituídas de dutos flexíveis de borracha, encapados por uma lona, confeccionadas em fibras sintéticas ou naturais, para suportar pressões de trabalho de 15 kgf/cm<sup>2</sup>, tração e condições adversas, ocasionadas pelo cenário de incêndio. As juntas de união, posicionadas nas extremidades, são peças metálicas que possibilitam o acoplamento das mangueiras entre si e com outros equipamentos hidráulicos, também chamados de acoplamentos *Storz*.

#### 2.7.1.2. Esguichos

Os esguichos são equipamentos que são acoplados às mangueiras e tem o objetivo de regular/ajustar e direcionar o fluxo de agente extintor (água ou espuma) nas ações de combate

a incêndio, além de admitirem, pelo menos, às mesmas pressões estáticas e dinâmicas que suportam as mangueiras e tubulações.

Existem diversos tipos de esguicho, feitos de diversos materiais, normalmente, tem entrada ou conexões para diâmetros de mangueira de 1 ½” (38mm) e 2 ½” (65mm) e conexão ou acoplamento Storz. Através dos esguichos é possível formar diferentes tipos de jato de água (quando este for o agente extintor) como: jato compacto, meia e neblina e neblina completa, como demonstrado abaixo:

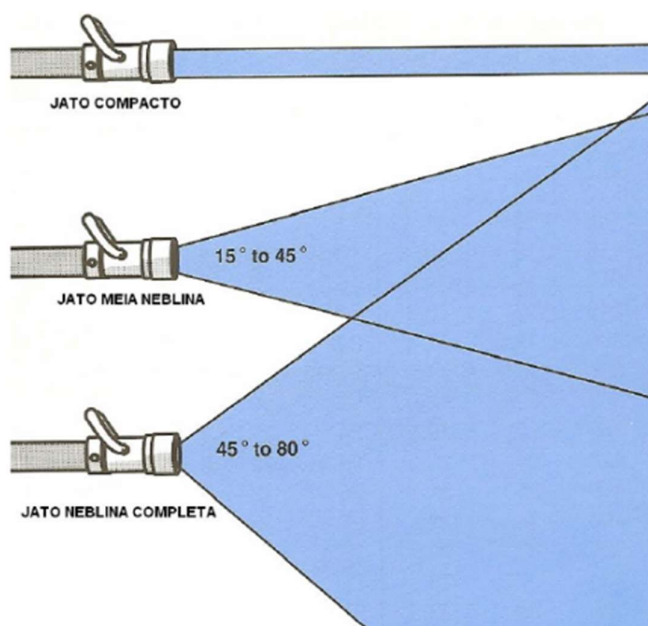


Figura 2.7 – Tipos de jatos produzidos por esguichos (IFSTA, 1990)

Dentre os diversos tipos de esguichos, destacam-se:

1. Esguicho Fixo de Tronco Cônico: É um esguicho que não possui comando de abertura ou variação de jato. É utilizado quando for necessário jato compacto de maior velocidade.
2. Esguicho Regulável: É um esguicho de forma cilíndrica e o corpo metálico, que proporciona desde o jato compacto até o jato neblinado a 100°. Possui as funções de fechamento, abertura do jato e controle da angulação, no entanto não possui controle de vazão e o fechamento é gradual.

3. Pistola: É um esguicho regulável que possui punho, para ser segurado, manopla de abertura e fechamento rápido, além disso também oferece controle de vazão e angulação do jato em até 180°, produzindo jatos compactos, neblinados e atomizados.
4. Lançador de espuma: É um tubo metálico com alças e entrada de ar, que não possui controle de vazão e angulação do jato. Sua função é fazer o aeramento da mistura de “LGE” (Líquido Gerador de Espuma) e água, feita pelo “princípio de Venturi” através do proporcionador, para que ar e líquido (LGE mais água de combate a incêndio) se misturem e produzam a espuma a ser lançada. Como a mistura água + LGE é formada pelo proporcionador, o lançador de espuma necessita de, no mínimo, dois lances de mangueira, um colocado antes do proporcionador e outro depois, até o esguicho lançador de espuma.

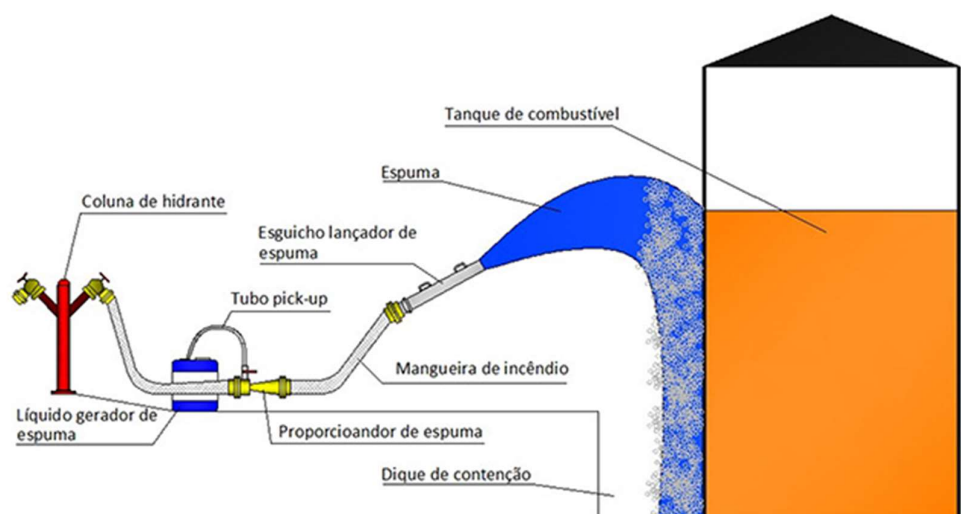


Figura 2.8 – Apresentação do aplicador manual de espuma (Protector Fire., 2015)

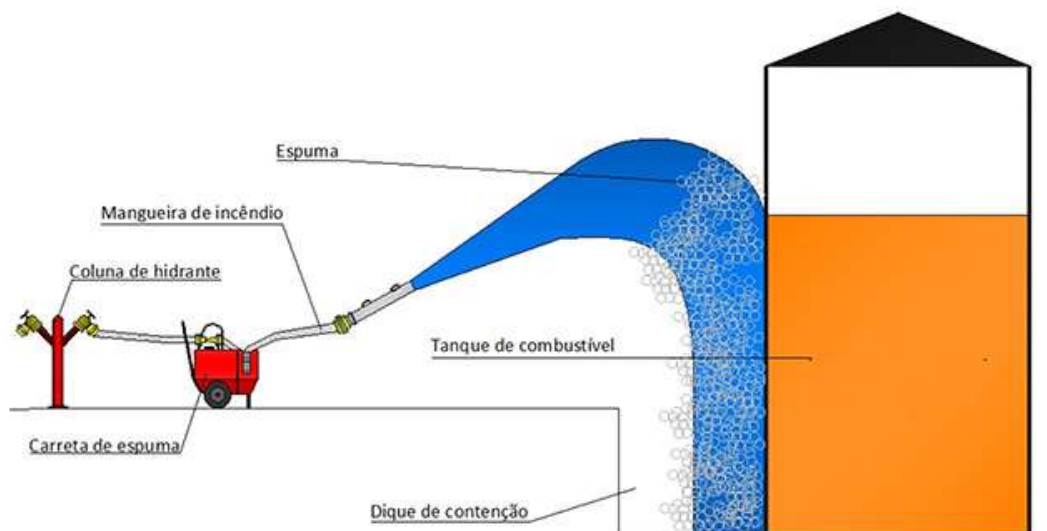


Figura 2.9 – Apresentação da carreta proporcionaladora de espuma (Protector Fire, 2015)

5. Proporcionalador de espuma: É um equipamento projetado para dosar a mistura do líquido gerador de espuma, com a água. Como é utilizado através de lances de mangueira, possui a necessidade de ser transportado em conjunto com o recipiente que contém o LGE.

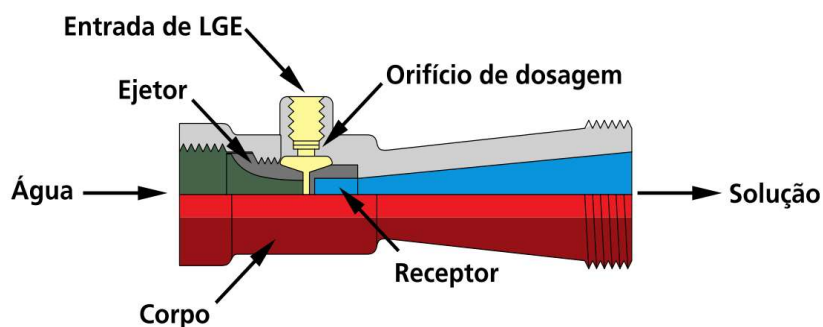


Figura 2.10 – Proporcionalador do tipo PL (Kidde, 2005)

6. Canhão monitor: É um esguicho com diversas funções. Existe para que se execute combate/ataque rápido, com altas vazões e pressões que seriam impossíveis de serem seguradas pelo homem. Através das altas vazões e pressões, pode alcançar grandes distâncias e alturas, podendo ser utilizado tanto para combate como para resfriamento. Pode ser fixo ou móvel, manual ou automático e trabalha com água e espuma. Os

canhões automáticos costumam ser instalados em locais de difícil acesso para o combate.

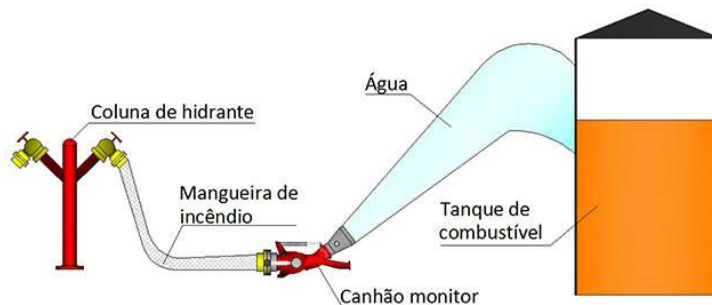


Figura 2.11 – Canhão monitor (Protector Fire, 2015)

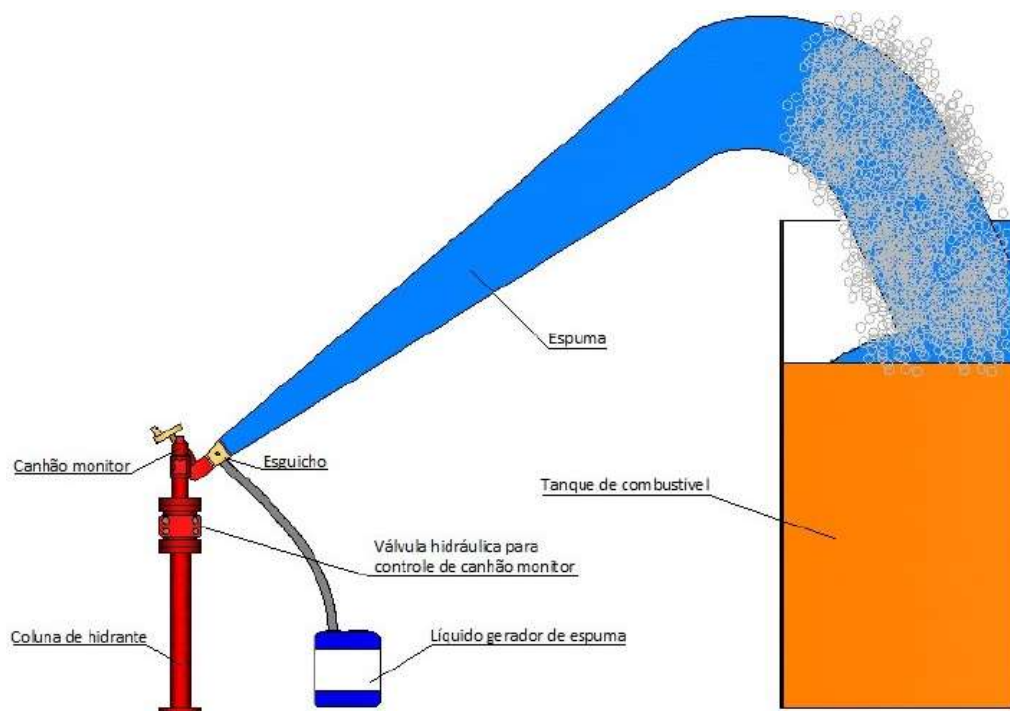


Figura 2.12 – Canhão Monitor Fixo Flangeado (Protector Fire, 2015)

### 2.7.2. Sistemas Fixos de Combate a Incêndio

Existem diversos sistemas fixos de combate a incêndio, dos quais só serão evidenciados aqueles que serão utilizados no projeto:

- Sistema de Hidrantes e Mangotinhos;





UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



- Sistema de Canhões Monitores;
- Sistema de Chuveiros Automáticos (Sistema de Dilúvio);
- Sistema de Resfriamento;
- Sistema de Aplicação de Espuma;

A definição dos sistemas fixos a serem utilizados em cada sistema de combate a incêndio é feita através do Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico (COSICIP) do Corpo de Bombeiros Militar de cada estado Brasileiro.

A definição também pode ser feita por Normativas de Segurança Contra Incêndio e Pânico Nacionais e Internacionais, ficando a cargo do Corpo de Bombeiros a aprovação do sistema de combate utilizado.

O Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Maranhão exige determinados sistemas de combate, conforme classificação da área e edifícios que pode ser realizada através das Normas Técnica NT-01/2021, NT-14/2021 e NT-22/2021.

O CBMMA também exige sistema de chuveiros automáticos de acordo com a classificação da área ou edificações, mas de forma geral exige para áreas ou edificação cuja carga de incêndio da ocupação ou uso seja maior  $300\text{MJ/m}^2$  e a altura do pé direito seja maior que 30m, salvo algumas exceções

Os sistemas de espuma e resfriamento são exigidos pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Maranhão apenas para ocupações de Energia Elétrica e Materiais Especiais (Líquidos Inflamáveis ou Combustíveis), relativo as divisões K-1 e M-2.

#### 2.7.2.1. Chuveiros Automáticos

O sistema de chuveiros automáticos de extinção de incêndios proporciona proteção contra incêndio de edificações que possuem um risco considerável do desenvolvimento de incêndio e onde a água for o agente extintor mais adequado, pode-se afirmar que o sistema de chuveiros automáticos de extinção de incêndios é, normalmente, a medida de proteção ativa contra incêndio mais eficaz e segura.



Os chuveiros automáticos, possuem a vantagem, sobre hidrantes e canhões monitores, de dispensar a presença de brigadista para realizar o combate, atuando automaticamente na fase inicial do incêndio, o que reduz as perdas decorrentes do tempo gasto desde a sua detecção até o início do combate, tornando um sistema grande eficiência e segurança.

De acordo com o Manual de Segurança Contra Incêndio nas Edificações e Áreas de Risco (2006, p. 21), o sistema de chuveiros automáticos de extinção de incêndios se caracteriza por entrar em operação quando acionado pelo próprio incêndio, liberando água de forma adequada ao risco do local a proteger através dos aspersores que foram acionados através de detecção térmica pelo calor liberado no incêndio. É um sistema de proteção contra incêndio que deve operar com rapidez, de modo a extinguir o incêndio em seus estágios iniciais e controlá-lo não permitindo que atinja níveis mais desenvolvidos.

O sistema de proteção por meio de chuveiros automáticos consiste em uma rede integrada de tubulações dotada de dispositivos especiais (aspersores) que, automaticamente, descarregam água sobre um foco de incêndio, em quantidade suficiente para controlá-lo e eventualmente extinguí-lo. Esse sistema de proteção é dotado de alarme. Assim que um foco de incêndio é detectado, os chuveiros são acionados e é emitido um aviso aos ocupantes da edificação, ou seja, este sistema realiza automaticamente três funções básicas:

1. Detectar o incêndio;
2. Ativar o alarme sonoro e identificar o setor da edificação atingida;
3. Controlar e extinguir o incêndio.

Diante disso, percebe-se que esse tipo de sistema prioriza preservar vidas humanas durante o combate, assim como a proteção de bens e propriedades de forma integral e segura. De acordo com a NBR 10897:2020, o sistema pode ser classificado em quatro tipos distintos, onde a escolha do sistema deve considerar o risco do local a ser protegido, o clima da região onde será instalado e o princípio de funcionamento, são eles:

- Sistema de Tubo Molhado (Sprinkler);
- Sistema de Tubo Seco (Sprinkler);



- Sistema de Ação Prévia (Sprinkler);
- Sistema de Dilúvio.

No entanto, como dito anteriormente no início desse tópico, será abordado apenas o sistema de chuveiro automático ao qual será implantado no projeto (sistema de dilúvio).

#### 2.7.2.1.1. Sistema de Dilúvio

Trata-se de uma rede de tubulações secas, que terão a instalação de aspersores abertos que não possuem qualquer tipo de obstrução, em seus ramais, os projetores descarregam jatos cônicos de água nebulizada em média velocidade e em densidade uniforme, extinguem o incêndio pelo processo de resfriamento.



Figura 2.13 – Atuação do sistema de Dilúvio em um tanque (Fire Protect, 2016)

Os chuveiros do sistema de dilúvio não possuem detecção térmica, desta forma, deve ser acrescido ao sistema de dilúvio um sistema de detecção térmica interligado a uma válvula de dilúvio instalada na entrada do sistema. A atuação de qualquer detector, ou então a ação manual de comando a distância, provoca a abertura da válvula, permitindo a entrada da água na rede, descarregada por intermédio de todos os chuveiros abertos e, simultaneamente, fazendo soar o alarme de incêndio.

O sistema de detecção térmica pode ser do tipo linear, através de um cabo termo sensível de fibra ótica, comumente usados em sistemas de transportadores de correia, ou sensores térmicos individuais, esse sistema também pode ser acionado por uma linha piloto, seca ou molhada. Ligado impreterivelmente a uma válvula hidráulica (válvula de dilúvio), que pode liberar água por todos os sistemas, protegendo um ambiente por inteiro. Essa válvula é usada

para controlar o fluxo de água nos sistemas de combate a incêndio dos tipos dilúvio e pré-ação e sistemas especiais em resposta a um incêndio.

Esse tipo de sistema é normalmente utilizado em instalação de risco especial, na qual a água deve ser aplicada em toda área para proteção. O padrão normativo interno da mineradora (PNR) exige que quando utilizado um sistema de ativação elétrica, deve ser usado uma combinação de válvula de dilúvio, válvula solenoide e painel de liberação automática.

#### 2.7.2.2. Elementos constituintes do sistema de chuveiros automáticos

Um sistema de chuveiros automáticos é constituído basicamente por uma rede de tubulações fixas, a qual estão conectados chuveiros com espaçamentos adequados, controlados por válvulas, interligado a um sistema de pressurização e a uma fonte de abastecimento de água, como indica a figura 2.14.

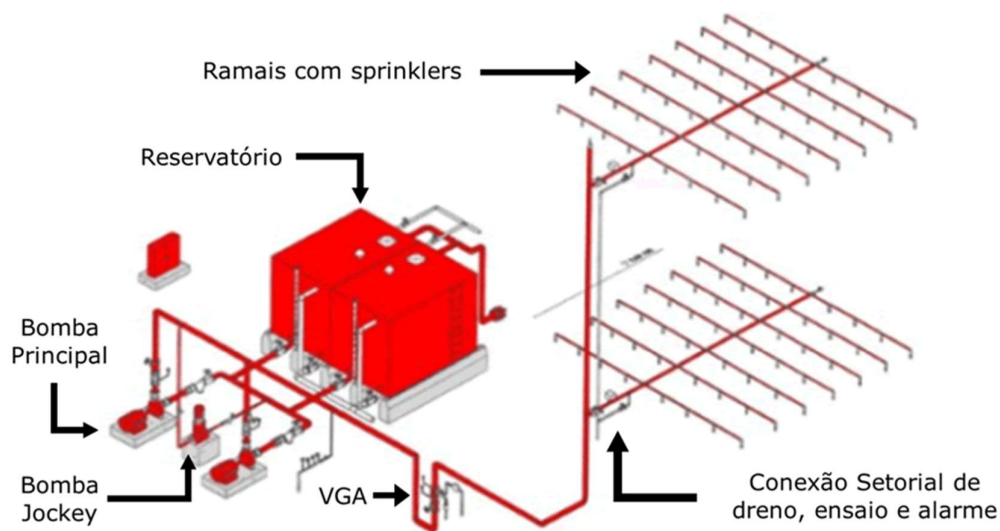


Figura 2.14 – Exemplo de sistema de Chuveiros Automáticos do tipo “Sprinkler” similar ao sistema de Dilúvio utilizado no projeto (Skop, 2019)

#### A. Sistema de controle e alarme

Segundo Becker (2005, p. 45), é o sistema que controla o escoamento de água para a rede de distribuição através de válvulas especiais e aciona o sistema de alarme. A válvula automática que controla os sistemas de chuveiros automáticos é uma válvula de retenção com controle automático, que deixa passar a água para o sistema de chuveiros automáticos e para as



canalizações que alimentam o sistema de alarme acoplado. A válvula é comandada por dispositivos de detecção e/ou por sistemas, elétricos, pneumáticos ou hidráulicos.

#### B. Sistema de distribuição

Segundo Brentano (2004), é a rede formada por canalizações fixas localizadas após o sistema de controle e alarme, que alimentam os chuveiros automáticos. Esta rede de tubulações é composta de tubulações principais e ramais, além de sub-ramais com chuveiros automáticos. Os ramais e sub-ramais são ramificações onde os chuveiros automáticos são instalados diretamente ou utilizando-se tubos horizontais com 60 cm de comprimento máximo.

#### C. Chuveiros

De acordo com Brentano (2004), chuveiros automáticos são dispositivos com elemento termo sensível projetados para serem acionados em temperaturas predeterminadas, lançando automaticamente água sob a forma de aspersão sobre determinada área, com vazão e pressão especificadas, para controlar ou extinguir um foco de incêndio.

##### 2.7.2.2.1. Tipos de Chuveiros Automáticos:

- **Abertos:** São aqueles que não possuem obstrução no orifício com elemento termo sensível e obturador, ou seja, não possuem qualquer elemento que obstrua a passagem de água. São empregados nos sistemas do tipo dilúvio e destinados à proteção de ocupações de risco extraordinário e risco pesado.
- **Automáticos:** São os chuveiros providos de mecanismo de detecção de térmica individual, através de um elemento termo sensível (ampola de vidro ou fusível metálico), que os mantêm hermeticamente fechados. Automaticamente entram em funcionamento pela ação do calor de um incêndio. Diferencia-se do chuveiro aberto, pois o acionamento de cada chuveiro é independente.

##### 2.7.2.2.2. Tipos de Chuveiro Quanto à Descarga D'água:

De acordo com a NBR 10897:2020, quanto à forma de descarga de água, os chuveiros podem ser os seguintes:

- Chuveiros-padrão (spray);



- Chuveiros laterais (*sidewall*) ou de parede;
- Chuveiros laterais de longo alcance;
- Chuveiro pendente (“*Pendent sprinkler*”);
- Chuveiro em pé (“*Upright sprinkler*”).

### 2.7.2.3. Sistema de Aplicação de Espuma e Resfriamento

Conforme NT-01/2021 do CBMMA, para tanques ou parque de tanques, cujo volume de produtos combustíveis e inflamáveis armazenado seja superior a 10m<sup>3</sup>, deve ser previsto sistema de espuma e resfriamento.

De acordo com o corpo de bombeiros, todos os locais sujeitos a derramamento ou vazamento de produto ou onde este possa ficar exposto à atmosfera em condições de operação (como, por exemplo, separador de água e óleo) devem estar protegidos pelo sistema de lançamento de espuma. Exceto para sistemas operando com líquidos IIIB (líquido com um ponto de fulgor de 93°C ou mais).

O sistema de espuma consiste na aplicação de espuma por aspersores de espuma, canhões-monitores ou aplicadores manuais e câmaras de espuma para proteção da bacia de contenção. Esse tipo de sistema tem a função de separar o líquido combustível/inflamável dos vapores aquecidos, abafar e cortar a queima do combustível e resfriar o líquido combustível, conforme item 2.4.4.

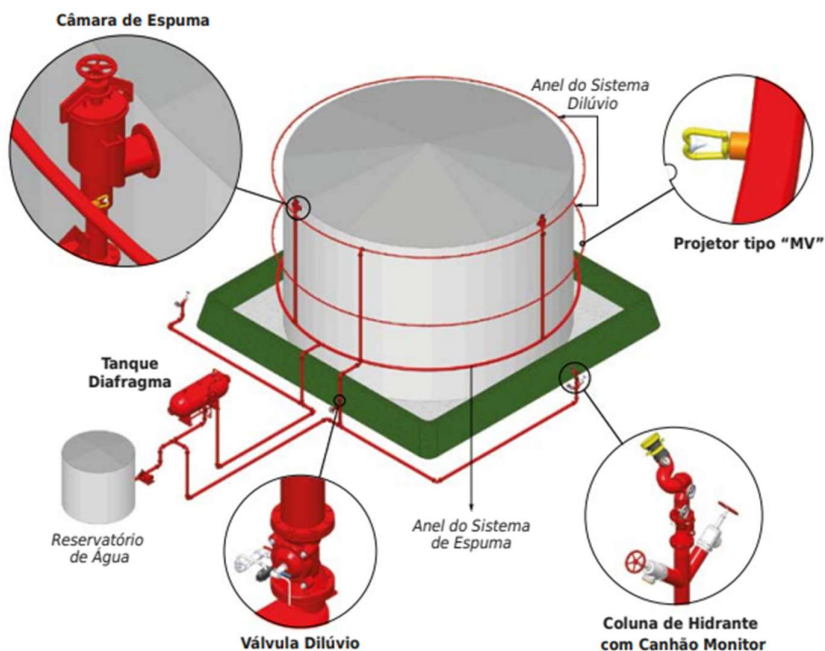


Figura 2.15 – Sistemas de combate a incêndio na tancagem com Resfriamento e Espumas (Argus Engenharia, 2012)

De acordo com o Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Maranhão e a NBR 17505-7:2015, as plataformas de carregamento e/ou descarregamento de produtos combustíveis e inflamáveis, devem ser protegidas por sistemas de aplicação ou aspersão de espuma, exceto para produtos classe IIIB.

#### 2.7.2.3.1. Câmaras de Espuma

A câmara de espuma foi projetada para combater incêndios causados em tanques de armazenagem verticais. Logo, após o início das chamas, a espuma é liberada para entrar em contato direto com a superfície do produto inflamável, ocasionado abafamento da combustão e divisão do combustível e vapores aquecidos. A espuma é dispensada de forma controlada com um fluxo constante e direcionado à superfície em chamas. Por causa do risco ao qual estes espaços ficam expostos, a câmara é a forma mais precisa de proteger o local, extinguir ou controlar focos de incêndio como é demonstrado na figura 2.16.

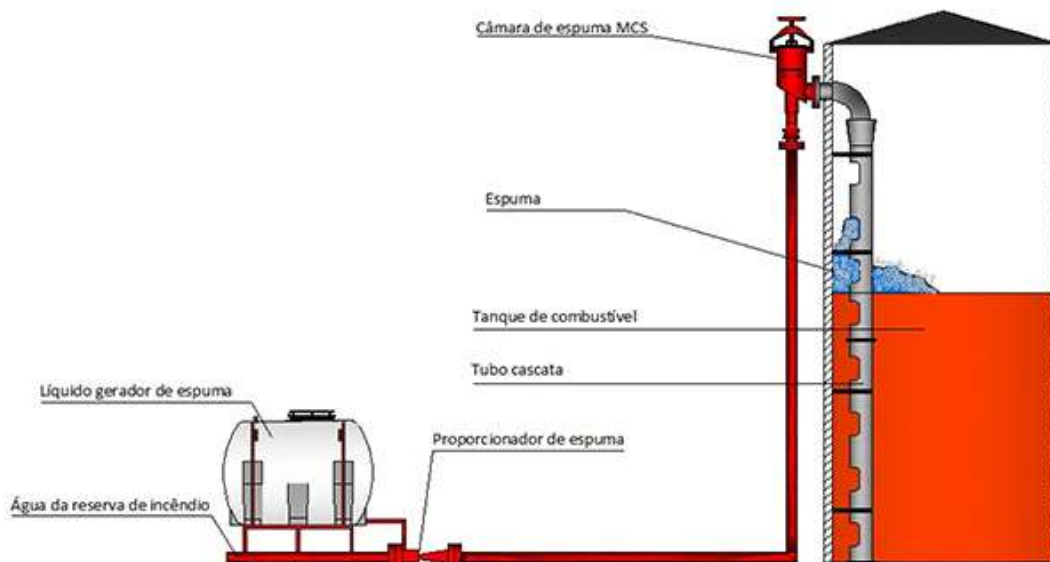


Figura 2.16 – Câmara de espuma (Protector Fire, 2015)

### 2.7.3. Sistema de Bombeamento

Bombas são equipamentos alimentados por uma fonte motora que fornecem energia e pressão para o fluido através da transformação de energia cinética e de pressão em energia de hidráulica (geradora), com o intuito de transportá-lo, através de tubulações, de um local a outro. Inicialmente, deve-se compreender que o sistema deve prover de três tipos bombas diferentes, instaladas simultaneamente com funções distintas entre si:

- Bomba Elétrica Principal: Atua no início do incêndio, proporcionando vazão para o fluido;
- Bomba Jockey: Responsável por manter o sistema pressurizado para compensar os possíveis vazamentos;
- Bomba Reserva a Diesel: Em caso de problemas com a bomba principal, esta será utilizada.



Figura 2.17 – Tipos de bomba na instalação para combate a incêndio (Oswaldo, 2012)



A finalidade das bombas de recalque d'água de combate a incêndio e pressurização é suprir os sistemas de combate a incêndio não-elevados com a vazão de água e de pressão necessária para que todo o sistema tenha a mesma eficiência. De acordo com a NBR 13714:2000, quando o abastecimento de hidrantes for feito por bomba de incêndio, esta deverá possuir pelo menos uma bomba elétrica ou de combustão interna e deverá abastecer o sistema exclusivamente.

De acordo com a NT-22/2021 do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Maranhão, a NBR 13714:2020 e NFPA 20, as bombas de incêndio devem ser instaladas, preferencialmente, em condição de sucção positiva. Esta condição é obtida quando a linha do eixo da bomba se situa abaixo do nível do fundo do reservatório. Se o motor da bomba for elétrico, este deve possuir rede independente da instalação do prédio, ou ter sua alimentação executada de forma que possa fazer o desligamento da instalação geral, sem interromper o seu funcionamento. Quando for instalado motor de combustão interna para a bomba de hidrantes, deverá o mesmo funcionar, continuamente, a plena carga, durante no mínimo seis horas.

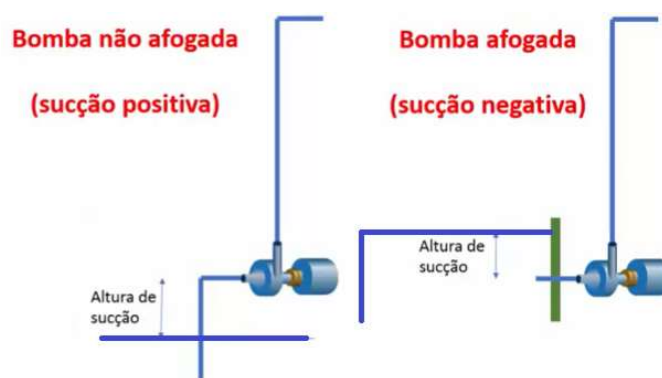


Figura 2.18 – Tipos de instalação de bombas quanto a sua sucção (VIANNA, 2020).

Quando for necessário manter a rede do sistema de hidrantes ou mangotinhos devidamente pressurizada em uma faixa preestabelecida e, para compensar pequenas perdas de pressão, deve ser instalada uma bomba de pressurização (JOCKEY), com vazão máxima de 20 L/min. Além disso, se houver necessidade de fornecer água aos hidrantes mais desfavoráveis hidráulicamente, quando estes não puderem ser abastecidos somente pelo reservatório elevado, pode-se utilizar uma bomba hidráulica centrífuga, chamada de bomba de reforço.

Outro critério importante é que devem ser diretamente acopladas por meio de luva elástica a motores elétricos ou motores diesel, sem interposição de correias ou correntes. Devem possuir dispositivo para partida automática pela queda de pressão hidráulica na rede do sistema de chuveiros.

As bombas principal e de pressurização da rede hidráulica de combate a incêndio deverão ser bombas centrífugas e seu acionamento partida, deverão ser automáticas, balizada pela pressão. O sistema utilizado para automatização delas deve ser executado de maneira que, após a partida do motor, o desligamento só possa ser efetuado por controle manual.

### 2.7.3.1. Bomba Centrífuga

De acordo com Aita e Peixoto (2012, p. 65), na bomba centrífuga, a transferência de energia é efetuada por um ou mais rotores que giram dentro do corpo da bomba, movimentando o fluido e transferindo a energia para este. A energia é, em grande parte, cedida sob a forma de energia cinética, aumento de velocidade, podendo ser convertida em energia de pressão.

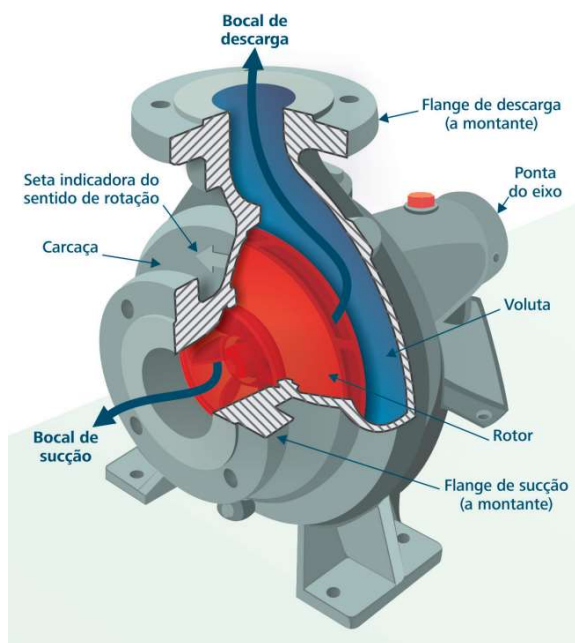


Figura 2.19 – Bomba Centrífuga (Lorentz, Hofstadler e Peixoto et al., 2009)

Silva (2018, p.32) conceitua as bombas centrífugas como sendo, uma Turbo-máquina geradora que trabalha com através de pressão diferencial, com a criação de uma zona de baixa



pressão, sucção, e uma de alta pressão, recalque, o que estabelece um fluxo contínuo do fluido. Constituída por três partes principais:

- Carcaça: trata-se da estrutura da bomba, que contém o fluido e demais peças, possui um bocal de entrada (sucção) e um de saída (descarga);
- Rotor: responsável por fornecer energia ao fluido;
- Eixo: responsável pela transferência de movimentos rotativos do motor (geralmente elétrico) para o rotor.

#### 2.7.4. Conceitos para cálculo de escoamento do fluido

##### 2.7.4.1. Número de Reynolds

Número de Reynolds é um adimensional utilizado em mecânica dos fluidos para o cálculo do regime de escoamento de um fluido, podendo esse escoamento ser laminar, turbulento ou de transição. A equação classifica a partir do valor do número de Reynolds, pela equação abaixo.

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (2.2)$$

$v$ : é a velocidade do fluxo;

$D$ : é uma dimensão linear característica (diâmetro hidráulico);

$\rho$ : densidade do fluido;

$\mu$  : viscosidade dinâmica.

Para:

$Re < 2.300$  o regime é laminar

$Re > 2.400$  o regime é turbulento

$2.300 < Re < 2.400$  o regime é de transição

Ao analisar o perfil de velocidade de um escoamento turbulento ele deve se assemelhar à figura 2.20:

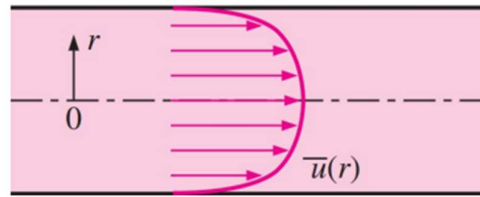


Figura 2.20 – Perfil de velocidade para um escoamento turbulento (Çengel, 2012)

#### 2.7.4.2. Cálculo da Perda de Carga

Trata-se da perda de energia que o fluido sofre ao longo de seu escoamento em uma tubulação, podendo ser gerada pelo atrito do fluido com a parede da tubulação em que escoar e/ou a perda de carga localizada, que é gerada por mudanças no escoamento, com a colocação de conexões, divisórias ou equipamentos.

O método mais indicado para o cálculo dessa grandeza é o de **Darcy-Weisbach**, fórmula geral para perdas de carga localizadas, “fórmula universal”, como determina o item 5.8.1 da NT-22/2021 do CBMMA.

$$h_f = f \cdot \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g} + k \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (2.3)$$

Onde:

- $h_f$  – Perda de carga;
- $D$  – Diâmetro interno da tubulação;
- $V$  – Velocidade do fluido;
- $g$  – Aceleração da gravidade;
- $k$  – é a somatória dos coeficientes de perda de carga das singularidades (conexões).
- $f$  – Fator de fricção, baseado na fórmula de Fanning, adequado para o fator de Moody:

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log \left( \frac{\varepsilon}{3,7 D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (2.4)$$

- $\varepsilon$  – Rugosidade absoluta da tubulação;
- $L$  – Comprimento equivalente (m).



#### 2.7.4.3. Altura Manométrica Total

É a energia por unidade de peso que o sistema necessita para movimentar o fluido do local de sucção para o local de descarga a uma determinada vazão. É fundamental na escolha da bomba, visto que nos cálculos para evitar cavitação, necessitam do seu uso.

$$H = H_{\text{geo}} + \frac{\text{prd} - \text{prs}}{\gamma} \times 10 + H_f + \frac{\text{vrd}^2 - \text{vrs}^2}{2g} \quad (2.5)$$

H<sub>geo</sub>: Altura geométrica;

prd: Pressão no reservatório de descarga;

prs: Pressão no reservatório de sucção;

γ: Peso específico do fluido;

H<sub>f</sub>: Perda de carga;

vrd: Velocidade no reservatório de descarga;

vrs: Velocidade no reservatório de sucção;

g: Aceleração da gravidade.

#### 2.7.5. Fonte de abastecimento de água

O reservatório de água é um ponto importante no dimensionamento de um sistema de combate a incêndio, tendo em vista que podem ser aproveitadas as condições gravitacionais ou não, garantindo o fluxo do fluido. É possível realizar o projeto podendo utilizar recursos naturais como lagos e rios, no entanto, é mais comum a aplicação de tanques e poços.

De acordo com a NBR's 10897:2020, 16704:2019, 13174:2000, as NFPA 20, NFPA 14, NFPA 16 e as normativas técnicas do Corpo de Bombeiros Militar, os sistemas fixos de combate a incêndio, devem possuir pelo menos um abastecimento de água exclusivo e de operação automática.

A norma interna da mineradora (PNR-15) e a NFPA 22, descrevem que o volume da reserva técnica deve ser a multiplicação da vazão do cenário crítico de incêndio, vazão nominal



da bomba, pelo tempo de combate, que pode variar de 2h de duração do combate, para combates em parques de taques cujo armazenamento total de combustíveis seja menor que 10000m<sup>3</sup>, até 6h de combate, para combates em parques de taques cujo armazenamento total de combustíveis seja maior que 40000m<sup>3</sup>. Para sistemas de hidrantes, o PNR-15, a NFPA 14 e NFPA 22, recomendam que a duração do combate seja de até 3h.

A NFPA 22, também recomenda que a reposição da capacidade da reserva técnica seja realizada em até 8h. Ademais, a NBR 13714:2000 prevê a construção dos reservatórios com materiais que garantam resistência mecânica, a fogo e à corrosão, dentre outras possíveis intempéries. Caso a fonte de abastecimento de água seja utilizada para outras finalidades as tomadas tem que ser instaladas de forma que haja água suficiente para o combate.

A localização do reservatório deve ser de forma que não haja exposição a um possível incêndio, e se não houver essa possibilidade, deve ser protegido por um material a prova de fogo ou protegido por sprinklers para que não corra risco de comprometer o fornecimento de água.

#### 2.7.6. Sinalização de emergência

Para o pleno funcionamento do projeto, há a necessidade de se comunicar com as pessoas que transitarão pela área do terminal ferroviário, e em caso de incêndio, essa comunicação imediata se faz principalmente pela sinalização adequada.

##### 2.7.6.1. Classificação de Sinalização

Por meio da consulta realizada na NBR 16820:2020, a sinalização pode ser dividida em dois tipos: Sinalização Básica e Complementar, das quais pode-se ver alguns exemplos abaixo:

###### 2.7.6.1.1. Sinalização Básica

- Proibição;
- Alerta: Geralmente para alertar equipamentos e produtos de alto risco;
- Orientação e salvamento: Indicar rotas de saída e ações necessárias para o salvamento;
- Equipamentos de combate a incêndio e alarme: Indicar localização e tipos de equipamentos.



#### 2.7.6.1.2. Sinalização Complementar

- Faixas de cor: Indicando obstáculos;
- Agentes extintores;
- Lotação máxima do recinto;
- Rotas e planos de fuga.

#### 2.7.6.2. Detalhamento das placas de sinalização

As bacias 1 e 2 possuem, respectivamente, uma área de 700m<sup>2</sup> e 500m<sup>2</sup>. Portanto, deverão ser utilizadas 2 placas (medida de segurança) de sinalização dos dois tipos citados abaixo:

De acordo com algumas predefinições comerciais, as placas escolhidas serão:

- A. Cuidado, risco de incêndio (colocada na parede da Bacias): Com largura da base de 0,7 metros;
- B. Proibido Fumar; (colocada na parede das Bacias): Com diâmetro de 0,7 metros.



Figura 2.21 – Sinalização utilizada nas bacias (ABNT, 2020)

Já em relação a saída de emergência, não há necessidade de sinalização, visto que o ambiente é externo, necessitando apenas faixas de “caminho seguro”.

#### 2.7.6.3. Caminho seguro

Em toda a extensão, coloca-se uma faixa para indicação do caminho a ser seguido em caso de emergência, determinando assim o caminho adequado para a fuga.



Figura 2.22 – Exemplo de Caminho Seguro em uma empresa de transportes (Viação Grande Vitória, 2014)

Produtos fotoluminescentes podem ser utilizados, no entanto, como há a devida iluminação no local, não há necessidade de implantar tal tipo de tinta. No entanto, a sinalização feita no chão deve seguir os padrões impostos pela NBR 16820:2020, seguindo alguns detalhes:

- Espessura de abrasivo e camada de tinta mínima de 200  $\mu\text{m}$ ;
- Deve possuir sinalização de obstáculos;



Figura 2.23 – Faixa de Obstáculos em ambientes externos (ABNT, 2020)

#### 2.7.6.4. Sinalização de equipamentos

Todos os equipamentos fixos devem ser devidamente sinalizados, dos quais serão necessárias as 3 placas abaixo (nomeadas da esquerda pra direita):

- Comando manual da Bomba de incêndio;
- Conjunto de equipamentos de combate a incêndio;
- Válvula de controle do sistema de chuveiros automáticos;





UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



Figura 2.24 – Representação dos elementos de combate a incêndio a serem utilizados (ABNT, 2020)



### 3. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E DA ÁREA

Para a realização do projeto, é necessário analisar o cenário ao qual será aplicado o SPCI, para isso, o primeiro tópico será a apresentação da área de tancagem pertencente a ferrovia da mineradora.

#### 3.1. Apresentação da Área

O terminal ferroviário é responsável por receber as locomotivas e vagões vindos das minas de minérios de outros estados, descarregar os vagões carregados de minério, assim como realizar as manutenções preventivas e corretivas e abastecer as locomotivas.

A mineradora ampliou as instalações do terminal ferroviário e com isso, inaugurou o mais moderno complexo de oficinas de locomotivas e vagões da empresa. As novas instalações ocupam uma área de 20.000,00m<sup>2</sup> e adotam tecnologias inéditas, capazes de tornar o ciclo de manutenção preventiva e corretiva da sua frota ainda mais eficiente, que possuem capacidade de abastecer e realizar o ciclo de manutenções em mais de 16 mil vagões e 220 locomotivas, utilizados para fazer o transporte de minério entre a mina e a mineradora, utilizando um conceito de "pit stop", parecido com o aplicado nos carros de fórmula 1.

O complexo de oficinas do Terminal Ferroviário inclui um novo Posto de Inspeção e Abastecimento de Locomotivas (PIAL), o Complexo de Troca de Rodeiros (CTR) e ainda o Complexo de Manutenção de Rodeiros (CMR).

Próximo ao posto de inspeção e abastecimento de locomotivas (PIAL), há uma área destinada ao armazenamento de combustíveis que são utilizados no processo de abastecimento das locomotivas, chamada de Área da Tancagem do Posto de Abastecimento de Locomotivas, que também foi ampliado e, atualmente, possui três bacias de contenção, duas dessas bacias de contenção possuem armazenagem de Diesel S-10.

Na tabela abaixo é descrito os produtos armazenados, a quantidade de bacias de contenção e os tipos de tanque em cada bacia.

Tabela 3.3 - Detalhamento da área de tancagem (Autores, 2021)

Ambiente	Produto Armazenado	Descrição Da Área	Ponto De Fulgor (°C)	Área (m <sup>2</sup> )
Posto de Abastecimento de Locomotivas	Óleo Diesel S10	*2 Tq's Verticais de 500m <sup>3</sup>	38	1500
		4 Tq's Verticais de 125m <sup>3</sup>		

\*Os 2 tanques verticais de 500m<sup>3</sup> ainda não estão em operação.

Abaixo, uma ilustração extraída do software AUTODESK AUTOCAD 2021 demonstrando as áreas acima citadas:

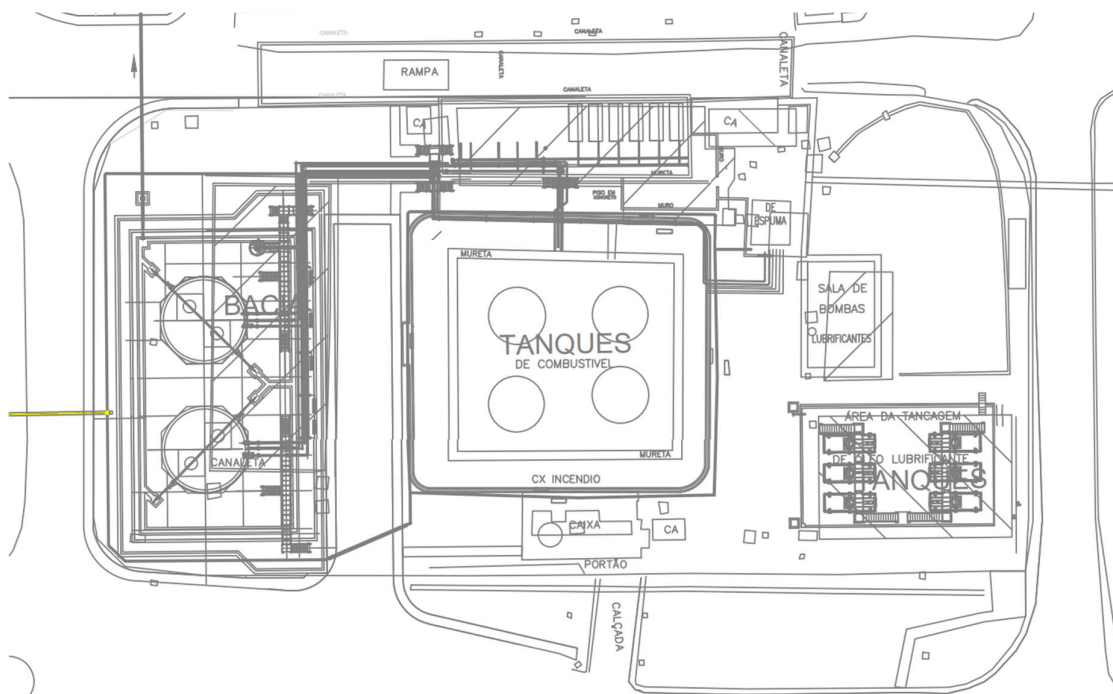


Figura 3.25 – Vista superior da tancagem do PIAL (Autor, 2021)

### 3.2. Classificação da Área

Conforme citado no tópico 2.2, o CBM ficou responsável por instituir o Regulamento de Segurança Contra Incêndio e o Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico, assim como publicar as normativas e instruções técnicas a respeito do tema, portanto a classificação da área



e das edificações será realizada de acordo com as normativas técnicas do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Maranhão.

Conforme demonstrado na tabela 3.3, a Tancagem do Posto de Abastecimento de Locomotivas armazena óleo Diesel S10. De acordo com a FISPQ (Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico), fornecida pela PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A, o ponto de fulgor do óleo Diesel S10 é de 38 °C, portanto, os produtos armazenados são classificados como classe II, conforme a tabela 1 da NBR 17505-1:2013, demonstrada abaixo.

Tabela 3.4 - Classificação de líquidos inflamáveis e combustíveis NBR 17505-1: 2013

Líquidos	Ponto de fulgor PF	Ponto de ebulição PE
<b>Inflamáveis</b>		
Classe I	PF < 37,8 °C e PV < 275,7 kPa	
Classe IA	PF < 22,8 °C	PE < 37,8 °C
Classe IB	PF < 22,8 °C	PE ≥ 37,8 °C
Classe IC	22,8 °C ≤ PF < 37,8 °C	–
<b>Combustíveis</b>		
Classe II	37,8 °C ≤ PF < 60 °C	–
Classe IIIA	60 °C ≤ PF < 93 °C	–
Classe IIIB	PF ≥ 93 °C	–
NOTA PV é a pressão de vapor.		

### 3.2.1. Classificação Quanto a Ocupação

Baseado na descrição da área, tem-se que a ocupação é destinada ao armazenamento e distribuição de líquidos combustíveis, portanto, de acordo com o anexo A, da NT-01/2021 (Procedimentos administrativos e medidas de segurança), a Tancagem do Posto de Abastecimento de Locomotivas é classificada como ocupação Especial, grupo “M” e divisão M-2, destinada ao armazenamento e distribuição de líquidos combustíveis, conforme tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Classificação das edificações e áreas de risco quanto à ocupação (NT-01/2021)

Grupo	Ocupação/ Uso	Divisão	Descrição	Exemplos
M	Especial	M-1	Túnel	Túnel rodoferroviário e marítimo, destinados a transporte de passageiros ou cargas diversas
		M-2	Líquido ou gás inflamável ou combustível	Edificação destinada a produção, manipulação, armazenamento e distribuição de líquidos ou gases inflamáveis ou combustíveis.
		M-3	Central de comunicação	Central telefônica, centros de comunicação, centrais e assemelhados.
		M-4	Canteiro de obras	Canteiros de obras e assemelhados.
		M-5	Silos	Armazém de grãos e assemelhados.
		M-6	Floresta nativa ou cultivada	Unidades de conservação, florestal, corredor ecológico e assemelhados.
		M-7	Pátio de contêineres	Área aberta destinada a armazenamento de contêineres.
		M-8	Torres de telefonia móvel	Torre metálica com armários para equipamentos de telefonia.

### 3.2.2. Classificação Quanto ao Risco

Para a definição do risco a qual a área de tancagem tem de entrar em combustão é necessário realizar o cálculo da carga de incêndio específica.

Conforme tabela 3.3, o posto de abastecimento possui três bacias de contenção onde estão armazenados 500m<sup>3</sup> de óleo Diesel S10 e 90m<sup>3</sup> de óleo lubrificante, entretanto os dois novos tanques de 500m<sup>3</sup> ainda não estão em operação e o óleo diesel é armazenado apenas nos quatro tanques de 125m<sup>3</sup> que em breve serão desativados. Portanto, para o levantamento da carga de incêndio será considerado o cenário de incêndio futuro, pois este é o cenário mais crítico a ser considerado.

O levantamento da carga de incêndio foi realizado de acordo com o item 5.1 e anexo “C” da NT-14/2021 (Carga de incêndio) do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Maranhão.

Portanto:



- Volume total armazenado de óleo Diesel S10 (Vol): 1000m<sup>3</sup>;
- Densidade média do óleo Diesel S10 (ρ): 825kg/m<sup>3</sup>;
- Área total (A<sub>f</sub>): 1500m<sup>2</sup>;
- Potencial calorífico específico do óleo Diesel S10 (H<sub>i</sub>): 43 MJ/kg;
- Massa total (M<sub>i</sub>) = Vol x ρ = 1000m<sup>3</sup> x 825kg/m<sup>3</sup> = 825000 kg;

$$q_{fi} = \left( \frac{825000\text{kg} \times 43\text{MJ/kg}}{1500\text{m}^2} \right) = 23650\text{MJ/m}^2$$

- Volume total armazenado de óleo lubrificante (Vol): 90m<sup>3</sup>;
- Densidade média do óleo lubrificante (ρ): 850kg/m<sup>3</sup>;
- Área total (A<sub>f</sub>): 1500m<sup>2</sup>;
- Potencial calorífico específico do óleo lubrificante (H<sub>i</sub>): 41 MJ/kg;
- Massa total (M<sub>i</sub>) = Vol x ρ = 90m<sup>3</sup> x 850kg/m<sup>3</sup> = 76500 kg;

$$q_{fi} = \left( \frac{76500\text{kg} \times 41\text{MJ/kg}}{1500\text{m}^2} \right) = 2090\text{MJ/m}^2$$

Portanto, a carga de incêndio das áreas de tancagem do terminal ferroviário é de 25740MJ/m<sup>2</sup>. O complexo é considerado, de acordo com a tabela a seguir, extraída da NT-01/2021 do CBMMA, como risco alto.

Tabela 3.6 - Classificação Das Edificações e Áreas De Risco (NT-01/2021)

RISCO	CARGA DE INCÊNDIO ( q <sub>fi</sub> ) em MJ/m <sup>2</sup>
Baixo	q <sub>fi</sub> ≤ 300
Médio	300 < q <sub>fi</sub> ≤ 1.200
Alto	Acima de 1.200



Tabela 3.7 - Classificação das Edificações e Áreas de Risco (Autores, 2021)

<b>Ambiente</b>	<b>Descrição da Área</b>	<b>Classificação NT-01</b>	<b>Classificação Risco</b>	<b>Classificação dos Combustíveis</b>
Posto de Abastecimento de Locomotivas	2 Tq's <b>Verticais</b> De 500m <sup>3</sup> de Óleo Diesel S10	M-2	Alto Risco	Classe II
	4 Tq's <b>Verticais</b> De 125m <sup>3</sup> de Óleo Diesel S10	M-2	Alto Risco	Classe II
	6 Tq's <b>Horizontais</b> De 15m <sup>3</sup> de Óleo Lubrificante	M-2	Baixo Risco	Classe IIIB

### 3.3. Definições para Combate ao Sinistro

A definição das medidas de segurança contra o sinistro é obtida através da tabela 6M.2 da normativa técnica NT-01/2021 (procedimentos administrativos e medidas de segurança) do CBMMA, como demonstrado abaixo.

Tabela 3.8 - Classificação das Edificações e Áreas de Risco pela Carga de Incêndio (NT-01/2021)

Grupo de Ocupação e Uso	Grupo M - Especiais				
Divisão	M - 2				
Medidas de Segurança	Tanques ou cilindros e processos		Plataforma de carregamento e descarregamento	Produtos fracionados	
	Líquidos até 20m³ ou gases até 10m³ (b)	Líquidos acima de 20m³ ou gases acima de 10m³ (b)		Líquidos até 20m³ ou gases até 12.480kg (b)	Líquidos acima de 20m³ ou gases acima de 12.480kg (b)
Acesso de Viatura em Edificações	X <sup>1</sup>	X	X	X <sup>1</sup>	X
Seg. Estrutural Contra Incêndio	X <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>	X	X <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>
Compartimentação Horizontal <sup>3</sup>	X <sup>4</sup>	X <sup>4</sup>	-	X <sup>4</sup>	X <sup>4</sup>
Compartimentação Vertical	X <sup>5</sup>	X <sup>5</sup>	-	X <sup>5</sup>	X <sup>5</sup>
Controle de Materiais de Acabamento	X <sup>4</sup>	X <sup>4</sup>	-	X <sup>4</sup>	X <sup>4</sup>
Saída de Emergência	X	X	X	X	X
Gerenciamento de Risco de Incêndio	-	X	-	-	-
Brigada de Incêndio <sup>6</sup>	X <sup>4</sup>	X <sup>4</sup>	X <sup>4</sup>	X <sup>4</sup>	X <sup>4</sup>
Iluminação de Emergência <sup>7</sup>	X <sup>4,5</sup>	X <sup>4,5</sup>	-	X <sup>4,5</sup>	X <sup>4,5</sup>
Sinalização de Emergência	X	X	X	X	X
Proteção por Extintores	X	X	X	X	X
Proteção por Hidrantes/Mangotinho	X <sup>4,5</sup>	X	X <sup>8</sup>	X <sup>4,5</sup>	X
Alarme de Incêndio	-	X	X	-	X
Detecção de Incêndio	-	-	-	-	X
Proteção por resfriamento	-	X	X <sup>8</sup>	-	X
Proteção por espuma	-	X <sup>8</sup>	X <sup>8</sup>	-	X <sup>8</sup>

**Notas específicas:**

- 1 – Fica dispensado quando houve acesso a partir do passeio público com mangueira de 60m.
- 2 – Somente para áreas edificadas.
- 3 – A área máxima de compartimentação deve abranger as áreas dos pavimentos e mezaninos interligados sem compartimentação.
- 4 – Para edificações com áreas superiores a 750 m<sup>2</sup>.
- 5 – Para edificação com altura superior a 12 m.
- 6 – Inclui Bombeiro Profissional Civil conforme NT específica.
- 7 – Luminárias à prova de explosão nas áreas de risco.
- 8 – Somente para líquidos inflamáveis e combustíveis, conforme exigência da NT específica.

**Notas Gerais:**

- a) Devem ser verificadas as exigências quanto ao armazenamento e processamento (produção, manipulação etc.) constante das NTs específicas.
- b) Considera-se para efeito de gases inflamáveis a capacidade total de volume em água que o recipiente pode comportar expresso em m<sup>3</sup> (metros cúbicos).
- c) Todos os pavimentos ocupados devem possuir aberturas para o exterior (por exemplo: janelas, painéis de vidro etc.) ou controle de fumaça dimensionados conforme o disposto em NT específica.





Desta forma, o sistema de proteção e combate a incêndio da tancagem do posto de abastecimento de locomotivas será composto por sistema de hidrantes, sistema de resfriamento e sistema de aplicação de espuma.

O padrão normativo interno da mineradora exige que os hidrantes devem ser adotados considerando uma vazão de 1000L/min por saída, cada saída com duas válvulas angulares de 2 ½”, mangueiras e esguichos reguláveis de 65mm de diâmetros, ambos.

Para dimensionamento do sistema, o PNR-15 exige a operação de dois esguichos de 1000L/min por hidrante e pressão de 7kgf/cm<sup>2</sup> na ponta do esguicho, os hidrantes devem ser do tipo com coluna de 4” de diâmetro com saídas para mangueiras de 65mm de diâmetro, com comprimento de até 60m, para hidrantes externos, e 30m para hidrantes internos. Segundo o PNR-15, o sistema de hidrantes deve ser dimensionado para operar durante 3h.

Os sistemas de espuma e resfriamento devem ser dimensionados conforme PNR-16, NFPA 16, NFPA 15, e NBR 17505-7:2015, que será mostrado no desenvolvimento.

#### 3.4. Premissas de Projeto

Será seguido as seguintes premissas de projeto:

- Para os cálculos hidráulicos, foi considerada as propriedades da água a temperatura de 20°C;
- As velocidades de sucção não deverão exceder 2m/s e a de recalque 5m/s, conforme CBMMA;
- O material da tubulação será aço carbono galvanizado ASTM A-53. A rugosidade considerada da tubulação de aço foi 0,1 mm e a da mangueira foi 0,01 mm;
- O sistema será analisado com uma bomba de combate a incêndio elétrica existente, uma bomba de combate a incêndio com motor diesel e uma bomba jockey que manterá a rede pressurizada, também existentes;
- O sistema de combate a incêndio é composto de dois reservatórios de água, existentes, com capacidade total de 550 m<sup>3</sup>.



#### 4. METODOLOGIA

Na metodologia será descrito o passo a passo para o dimensionamento do projeto de combate a incêndio na área de tancagem da ferrovia.

##### 4.1. Passo a passo para a realização do projeto

- Passo 1: Considerar um tanque qualquer como sendo o de maior risco e verificar todos os tanques vizinhos;
- Passo 2: Verificar o tipo de proteção que deve ser utilizado: canhão monitor, linha manual e/ou aspersor;
- Passo 3: Verificar a vazão mínima que deve ser utilizada para proteção deste tanque e dos tanques vizinhos;
- Passo 4: Efetuar o cálculo considerando o balanço hidráulico entre os sistemas de espuma e resfriamento com base no passo 3 e características dos equipamentos, a fim de obter a vazão e pressão reais da bomba de incêndio;
- Passo 5: Verificar o tempo total de resfriamento;
- Passo 6: Multiplicar a vazão total do sistema de resfriamento encontrada no passo 4 pelo tempo necessário para o resfriamento encontrado no passo 5, o resultado será a reserva de água de incêndio necessária para o sistema de resfriamento;
- Passo 7: Verificar qual o tipo de proteção, taxa de aplicação de espuma e o tempo de aplicação que deve ser considerado;
- Passo 8: Se o tanque for vertical, verificar a taxa de aplicação da solução de espuma na bacia de tanques e a quantidade mínima de linhas de espuma, além do tempo de atuação do sistema de espuma;
- Passo 9: Se a proteção for através de câmara de espuma, verificar a quantidade de câmaras necessárias;
- Passo 10: Verificar a dosagem de LGE;
- Passo 11: Calcular a quantidade de LGE e de água necessária para atender este tanque com o sistema de proteção por espuma, somando a quantidade necessária para atender o tanque em chamas e a bacia com seus tempos de funcionamento independentes;
- Passo 12: Efetuar o cálculo hidráulico, com base nas características dos equipamentos, a fim de obter as vazões e pressões reais;



- Passo 13: Calcular a quantidade de água total necessária para atender os sistemas de resfriamento e de espuma, somando a demanda individual de cada um destes sistemas;
- Dimensionar bombas a partir das vazões e pressões obtidas nos passos anteriores;
- Dimensionamento da válvula de alívio;
- Verificação da reserva técnica de água;
- Seleção e dimensionamento dos bicos aspersores;
- Seleção da câmara de espuma para as 2 bacias;
- Selecionar proporcionador de espuma;

Os cálculos do sistema de bombeamento foram executados utilizando o software AFT Fathom, versão 11 (2020.03.19). O AFT Fathom é um software de simulação de dinâmica dos fluidos, usado para calcular a perda de carga e a distribuição do fluxo em sistemas de líquido e gás com baixas velocidades.

A ferramenta de solução hidráulica do AFT Fathom utiliza o método de interação matricial de Newton-Raphson somado a métodos patenteados pela AFT para solucionar aplicações de fluxo em tubulações e dutos. O AFT Fathom aplica a Equação de Bernoulli e de Número de Reynolds para os cálculos de atrito nas tubulações.

## 5. DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo, será calculado as vazões do sistema de combate a incêndio da Tancagem do Posto de Abastecimento e Inspeção de Locomotivas, avaliação da bomba existente, dimensionamento da válvula de alívio, dimensionamento da bomba de pressurização (bomba jockey), dimensionamento dos tanques de: água de incêndio (reserva técnica), de LGE e de óleo diesel, assim como o dimensionamento dos equipamentos de combate a incêndio, como anéis de aspersão, proporcionador de LGE, câmaras de espuma, entre outros.

### 5.1. Cálculo do Sistema de Resfriamento e Aplicação de Espuma

No posto de abastecimento de locomotivas, os tanques da bacia 1 estão espaçados a mais de 25 m dos tanques da bacia 2. Na bacia 3, os tanques horizontais estão a aproximadamente 20 m de distância dos tanques verticais da bacia 2, ou seja, os tanques da bacia 1 não são vizinhos aos tanques da bacia 2 e os tanques da bacia 3 não são vizinhos aos tanques da bacia 2, assim como os tanques da bacia 1 não são vizinhos aos tanques da bacia 3. Portanto, será analisado o cenário de incêndio de uma bacia por vez.

De acordo com o item 7.4.1 da NT-25/2021 do CBMMA, para efeito de cálculo, são considerados vizinhos os tanques que atendam a um dos seguintes requisitos:

- Se o tanque em chamas for vertical e a distância entre seu costado e o do tanque próximo for menos que 1,5 vezes o diâmetro do tanque em chamas ou 15 metros (a maior distância entre os dois);
- Se o tanque em chamas for horizontal e a distância entre seu costado e o do tanque próximo for menor que 15 metros.

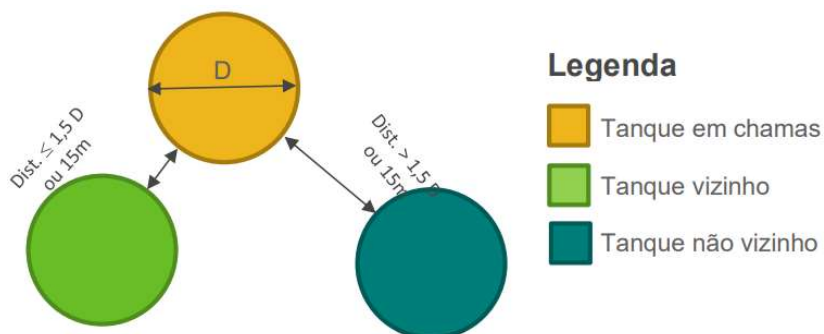


Figura 5.26 – Definição de tanques vizinhos (PNR-16, 2020)



## 5.2. Combate na Bacia 1

Na bacia 1 do posto de abastecimento, estão instalados dois tanques de Óleo Diesel de 500m<sup>3</sup> cada. A bacia tem uma área aproximada de 700m<sup>2</sup>.

Tabela 5.9 – Dados da Bacia de Contenção 1

Tanque	Diâmetro (m)	Altura (m)	Altura da Calota (m)	Distância entre Costados (m)
TQ-01	8,5	9	1	6,5
TQ-02	8,5	9	1	6,5

O cálculo da vazão de água para combate a incêndio do maior risco predominante (conforme definido na ABNT NBR 17505-7:2015) deve ser realizado considerando as seguintes situações:

- resfriamento do tanque atmosférico vertical em chamas, dos seus tanques vizinhos (horizontais ou verticais), aplicação de espuma no tanque vertical em chamas e aplicação de espuma em sua bacia de contenção;
- aplicação de espuma na bacia de contenção do tanque horizontal em chamas e resfriamento dos tanques (horizontais ou verticais) considerados vizinhos.

### 5.2.1. Sistema de Resfriamento dos Tanques

De acordo com a metodologia apresentada, o cálculo será iniciado com a definição do tipo de sistema de resfriamento para os tanques em questão e as vazões de resfriamento, esta última obtida através da área da projeção horizontal do tanque, como determina a NT-25/2021 (Segurança contra incêndio para líquidos combustíveis e inflamáveis), através do item 7.4.2 e tabela 7.1, do PNR-16 e A.1 da NBR 17505-7:2015.

Tabela 5.10 – Sistema Fixo de Combate a Incêndio com Água para Tanques (NT-25/2021)

Tipo de tanque	Classe do líquido	Altura do tanque m	Capacidade do tanque m <sup>3</sup>		
			De 20 a 60	> 60 a 120	> 120
Vertical/horizontal	I	≥ 9	CM	Aspersor <sup>a</sup>	Aspersor <sup>a</sup>
		< 9	LM ou CM	LM ou CM	LM ou CM
Vertical/horizontal	II	≥ 9	CM	CM	Aspersor <sup>a</sup>
		< 9	LM ou CM	LM ou CM	LM ou CM
Vertical/horizontal	IIIA	≥ 9	-	-	Aspersor <sup>a</sup>
		< 9	-	-	LM ou CM
Vertical/horizontal	IIIB	≥ 9	-	-	-
		< 9	-	-	-

**Legenda:**  
LM - Linhas manuais de mangueiras a partir de hidrantes;  
CM - canhão-monitor.

\*Aspersor = Sistema de Dilúvio.

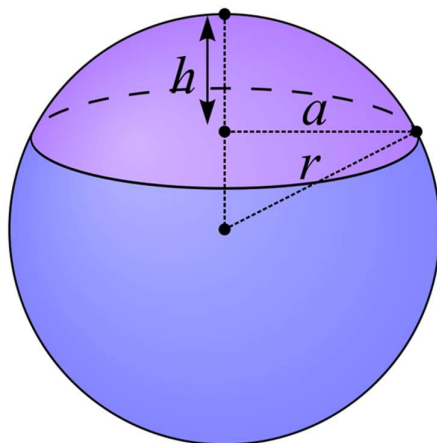
Desta forma, o sistema de resfriamento dos tanques verticais de 500m<sup>3</sup> de óleo diesel S10 da bacia 1 será composto de anéis de aspersores para todos os tanques. A quantidade de anéis e aspersores será calculada mais abaixo.

- Cálculo das áreas:

$$\text{Área do costado (A}_{CT}) = \pi \cdot D \cdot h = \pi \times 8,5\text{m} \times 9\text{m} = 240,33\text{m}^2$$

$$\text{Área teto (A}_{TT}) = \pi \cdot \left( \frac{D^2}{4} + h_t^2 \right) = \pi \cdot \left( \frac{8,5^2}{4} + 1^2 \right) = 59,9\text{m}^2$$

A área do teto será dada como um segmento esférico (calota).



Área da Superfície da Calota Esférica ( $A_{calota}$ )

$$A_{calota} = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot h$$

Volume da Calota Esférica ( $V_{calota}$ )

$$V_{calota} = \frac{\pi \cdot h}{6} \cdot (3r^2 + h^2) = \frac{\pi \cdot h^2}{3} \cdot (3r - h)$$

Figura 5.27 – Equacionamento da área de um segmento esférico (Autores, 2021)

### 5.2.2. Análise do Cenário de Incêndios

Para definição do tanque em chamas e seus vizinhos, o primeiro passo é a identificação do tanque com maior número de tanques vizinhos, como na bacia 1 tem-se apenas dois tanques de mesmas dimensões, que estão espaçados a 6,5m, ou seja, são vizinhos, pois atendem aos requisitos do tópico 5.1 e, portanto, têm a mesma criticidade, considerou-se o cenário do TQ-01 como sendo o tanque em chamas como referência.



Figura 5.28 – Visão Aérea da Bacia 1 (Google Earth website, 2021)

Na tabela abaixo, é mostrado o cenário de incêndio da bacia 1 da área do Posto de Abastecimento de Locomotivas.

Tabela 5.11 – Dados dos Tanques Presentes na Bacia 1 (Autores, 2021)

Tanque em chamas	Cenário	Distâncias (m)		Tanques Vizinhos
		TQ-01	TQ-02	
TQ-1	A	-	6,5	1 de 500 m <sup>3</sup>
TQ-2	B	6,5	-	2 de 500 m <sup>3</sup>

Como os cenários têm a mesma criticidade, considerou-se o cenário “A” como referência.

### 5.2.3. Análise do Tanque Em Chamas

A figura 5.29, retirada do PNR-16, define a taxa de descarga de água para tanques verticais em que a distância entre costados é menor que metade do diâmetro do maior tanque.

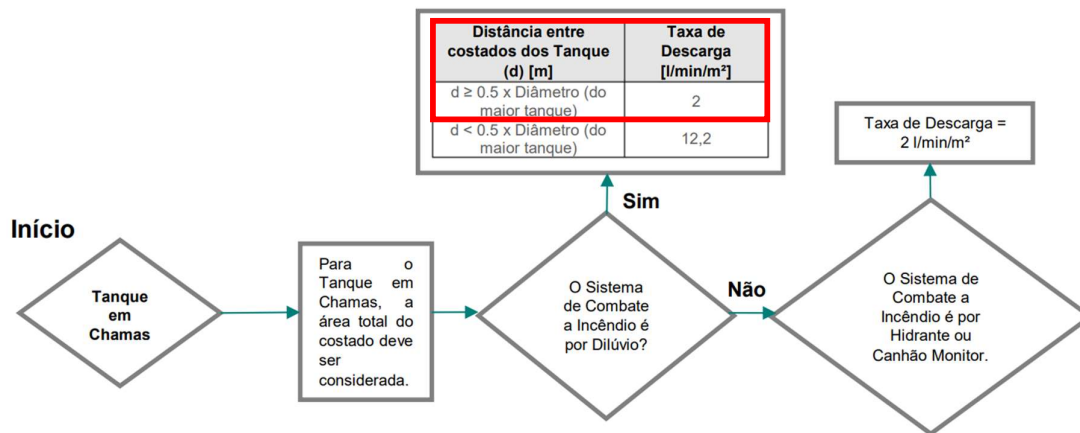


Figura 5.29 – Taxas de Descarga de Água para Tanques (PNR-16, 2020)

- Cálculo das vazões:

$$\text{Vazão Costado (Q}_{CTC}) = A_{CT} \times 2 \text{ L/min/m}^2 = 240,33\text{m}^2 \times 2 \text{ L/min/m}^2 = 480,7 \text{ L/min}$$

$$\text{Vazão Teto (Q}_{TTC}) = A_{TT} \times 2 \text{ L/min/m}^2 = 59,9\text{m}^2 \times 2/\text{min/m}^2 = 119,8 \text{ L/min}$$

#### 5.2.3.1. Análise dos Tanques Vizinhos

Para cálculo da vazão necessária para resfriamento dos tanques verticais vizinhos, será adotado a taxa de descarga de água de **2 L/min/m<sup>2</sup>**, para tanques cuja distancias entre costados seja menor que metade do diâmetro do maior tanque. Taxa retirada do PNR-16, conforme figura 5.30:



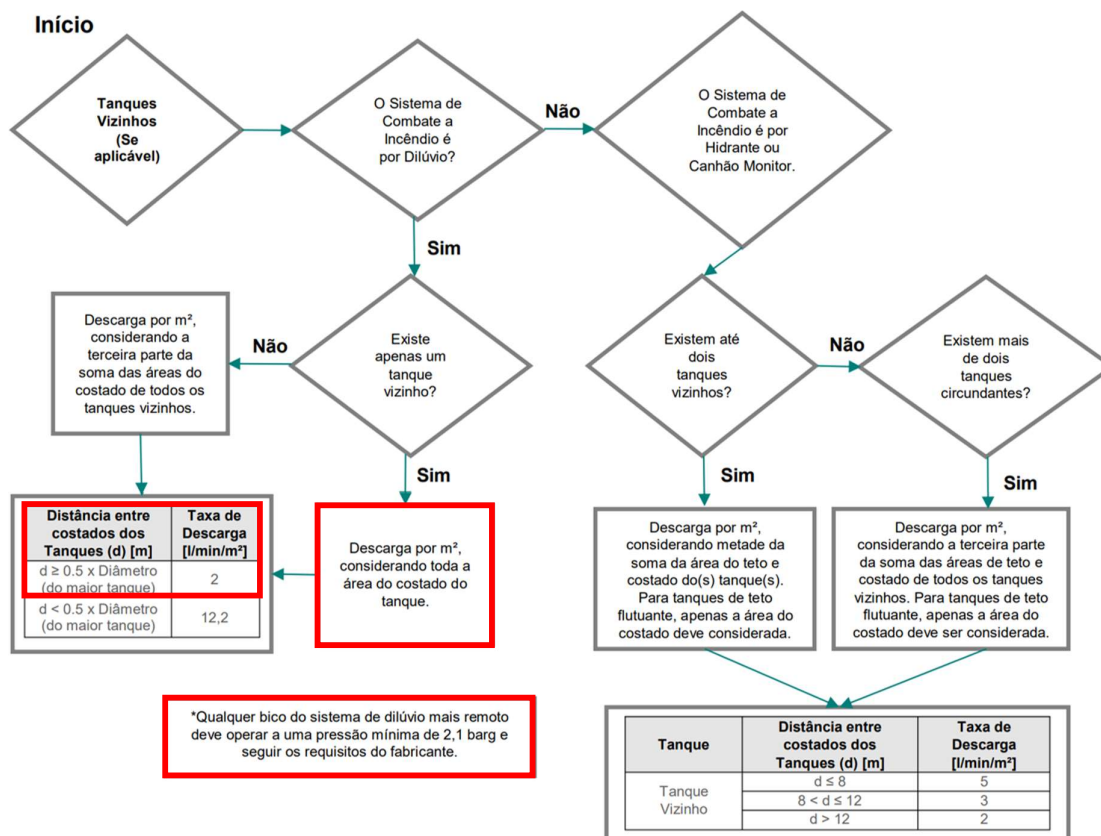


Figura 5.30 – Organograma das taxas de descarga de água para tanques (PNR-16, 2020)

- Cálculo das vazões:

$$\text{Vazão costado (Q}_{CTC}) = A_{CT} \times 2 \text{ L/min/m}^2 = 240,33\text{m}^2 \times 2 \text{ L/min/m}^2 = 480,7 \text{ L/min}$$

$$\text{Vazão teto (Q}_{TTC}) = A_{TT} \times 2 \text{ L/min/m}^2 = 59,9\text{m}^2 \times 2 \text{ L/min/m}^2 = 119,8 \text{ L/min}$$

#### 5.2.4. Vazão Total para Resfriamento dos Tanques Verticais da Bacia 1

De acordo com as análises realizadas, através do PNR-16, NBR-17505-7:2015 e NT-25/2021, têm-se os seguintes resultados:

Tabela 5.12 – Vazões necessárias (Autores, 2021)

TAG	Superfície Lateral (m <sup>2</sup> )	Superfície Teto (m <sup>2</sup> )	Vazão dos Costados (L/min)	Vazão dos Tetos (L/min)	Vazão Total (L/min)
TQ – 01	240,33	59,9	480,7	119,8	1201



TQ – 02	240,33	59,9	480,7	119,8	
---------	--------	------	-------	-------	--

A vazão total para resfriamento dos tanques verticais de 500m<sup>3</sup> da bacia 1 é de 1201 L/min ou 72 m<sup>3</sup>/h.

$$Q_{\text{Resfriamento Bacia 1}} = 1201 \text{ L/min}$$

### 5.2.5. Sistema de Aplicação de Espuma

De acordo com a metodologia apresentada, o cálculo será iniciado com a definição dos tipos de sistema de aplicação de espuma, para os tanques em questão, e as respectivas vazões do sistema, esta última obtida através da área da secção transversal do tanque e área da bacia de contenção, como determina a NT-25/2021 (Segurança contra incêndio para líquidos combustíveis e inflamáveis), através do item 7.6 e tabela 7.11, item 5.2.1.2 do PNR-16 e item 8 da NBR 17505-7:2015.

A NT-25/2021 do CBMMA descreve, no item 1.8.6.2, que a solução de espuma do tipo AFFF é obtida à razão de 3% para derivados de petróleo (hidrocarbonetos) e 6% para solventes polares. Como a Tancagem do Posto de Abastecimento de Locomotivas armazena óleo diesel S-10 e óleo lubrificante, ambos derivados de petróleo, a solução de espuma será de 3% de LGE e 97% de água.

Tabela 5.13 – Resumo das Exigências de Proteção por Espuma (NT-25/2021)

Tipo de tanque	Tipo de líquido (Classe)	Altura (m)	Diâmetro (m)	Sistema de espuma		
				Câmara de espuma	Canhões monitores de espuma	Linhas manuais de espuma
Vertical	Hidrocarbonetos de todas as classes de líquidos inflamáveis e, combustíveis, inclusive instáveis	≤ 6	Ø ≤ 9	-	-	X
			9 < Ø ≤ 18	-	X	-
			Ø > 18	X	-	-
		> 6	Ø ≤ 9	X	X	-
			9 < Ø ≤ 18	X	X	-
			Ø > 18	X	-	-
	Solventes Polares	≤ 6	≤ 4	-	X	X
			> 4	X	-	-
> 6		≤ 4	X	-	-	
		> 4	X	-	-	
Horizontal	Todas as classes de líquidos combustíveis e inflamáveis, inclusive instáveis	Proteção para bacia de contenção				

### 5.2.6. Proteção por Câmara de Espuma

Segundo os itens 5.2.1.2 do PNR-16, 8.3.1.2 da NBR 17505-7:2015 e 7.6.3.1.2 da NT-25/2021, todos os tanques atmosféricos verticais de teto fixo e flutuante, que contenham produtos de classe I ou de classe II e que possuam diâmetro superior a 18 m ou altura superior a 6 m, devem possuir um sistema fixo de aplicação de espuma (câmara de espuma ou injeção subsuperficial ou semi-superficial) para proteção e combate a incêndio.

Tabela 5.14 – Sistemas Fixos de Combate a Incêndio por Espuma a Partir de Tanques Verticais (PNR-16, 2020)

Classe do Líquido	Altura do tanque vertical - H [m] ou Diâmetro - D [m]	Soma das Capacidades dos Tanques V [m <sup>3</sup> ] <sup>(1)</sup>	
		$\sum 60 < V < 120$	$\sum V > 120$
PF < 37,8 °C	H ≥ 9 ou D ≥ 6	Sistema Fixo de Espuma	Sistema Fixo de Espuma
	H < 9 e D < 6	Sistema Fixo de Espuma	Sistema Fixo de Espuma
37,8°C ≤ PF < 60 °C	H ≥ 9 ou D ≥ 6	Sistema Fixo de Espuma	Sistema Fixo de Espuma
	H < 9 e D < 6	-	Sistema Fixo de Espuma
60 °C ≤ PF < 93 °C	H ≥ 9 ou D ≥ 6	-	Sistema Fixo de Espuma
	H < 9 e D < 6	-	Sistema Fixo de Espuma
PF > 93 °C	H ≥ 9 ou D ≥ 6	-	-
	H < 9 e D < 6	-	-

A quantidade mínima de câmaras de espuma por tanque deve ser conforme a Tabela 7.5 da NT-25/2021, tabela A.5 da NBR 17505-7:2021 e tabela 4 do PNR-16, como mostrado abaixo.

Tabela 5.15 – Número Mínimo de Câmaras de Espuma por Tanque (PNR-16, 2020)

Diâmetro do Tanque (D) [m]	Número de Câmaras de Espuma
D ≤ 24	1
24 < D ≤ 36	2
36 < D ≤ 42	3
42 < D ≤ 48	4
48 < D ≤ 54	5
54 < D ≤ 60	6



A taxa de descarga da aplicação de espuma e o tempo mínimo de aplicação do sistema fixo por espuma para tanques verticais estão de acordo com a tabelas 5 do PNR-16, 7.6 da NT-25/2021 do CBMMA e A.6 da NBR 17505-7:2021.

Tabela 5.16 – Taxa de Aplicação e Tempo de Espuma em Tanques Verticais Armazenando Hidrocarbonetos (NT-25/2021)

Tipo	Taxa mínima de aplicação L/min/m <sup>2</sup>	Tempo mínimo min		
		Produtos		
		Classe I	Classe II	Classe IIIA
Câmara de espuma ou aplicadores de espuma fixo na parede da bacia	4,1	55	30	20
Canhões monitores e linhas manuais	6,5	65	50	30

- Cálculo das áreas:

$$\text{Área da secção transversal do tanque } (A_{ST}) = \pi \times \left(\frac{D^2}{4}\right) = \pi \times \left(\frac{8,5^2}{4}\right) = 56,75\text{m}^2$$

Logo a vazão de espuma da câmara de espuma dos tanques é:

$$\begin{aligned} \text{Vazão da Câmara de Espuma } (Q_{CE}) &= \text{Taxa} \times \text{Área transversal } (A_{ST}) \times \text{N}^{\circ} \text{ de Tanques} \\ \text{na Bacia de Contenção} &= 4,1\text{L/min/m}^2 \times 56,75\text{m}^2 \times 2 = 465,3 \text{ L/min} \end{aligned}$$

$$\mathbf{Q_{CE} \text{ Bacia 1} = 465,3 \text{ L/min}}$$

- Concentração de espuma = 3%
- Vazão LGE = 3% x 465,3 = 14 L/min
- Vazão água = 97% x 465,3 = 451,3 L/min

#### 5.2.7. Proteção da Bacia de Contenção

De acordo com o item 7.6.1 da NT-25/2021 e 8.1 da NBR 17505-7:2015, todos os locais sujeitos a derramamento ou vazamento de produto ou onde o produto possa ficar exposto à atmosfera em condições de operação (como, por exemplo, separador de água e óleo) devem estar protegidos pelo sistema de lançamento de espuma, exceto para os sistemas operando com líquidos de classe IIIB.



O item 7.6.6 da NT-25/2021 do CBMMA, descreve que a proteção da bacia de contenção de tanques verticais deve ser realizada através do uso de espuma por meio de linhas manuais ou canhões-monitores para extinção de focos de incêndio no interior da bacia de contenção, onde forem armazenados produtos de classe I, classe II e classe IIIA. O número destes linhas ou canhões-monitores, considerando a vazão de no mínimo 200 L/min para cada um, e o tempo de aplicação são obtidos por meio das tabelas 7.9 e 7.10 da NT-25/2021, tabelas A.9 e A.10 da NBR 17505-7:2015 e tabelas 6 e 7 do PNR-16, como mostrado abaixo.

Tabela 5.17 – Número mínimo de canhões-monitores em Bacias com Tanques Verticais (NBR 17505-7:2015)

Diâmetro do maior tanque (D) m	Número mínimo de aplicadores manuais ou canhões-monitores de espuma
$D \leq 36$	2
$D > 36$	3

Tabela 5.18 – Tempo de Aplicação em Bacias com Tanques Verticais (PNR-16, 2020)

Diâmetro do Maior Tanque (D) [m]	Tempo de Aplicação [min]
$D \leq 28.5$	20
$D > 28.5$	30

Logo, a proteção da bacia de contenção 1 será realizada com 2 canhões monitores de espuma, com vazão total (Q<sub>BC</sub>) de 400L/min.

- Vazão para Bacia de Contenção (Q<sub>BC</sub>) = 400L/min;
- Vazão de LGE = 3% x 400 = 12 L/min;
- Vazão água = 97% x 400 = 388 L/min;

$$Q_{TOTAL} \text{ Bacia 1} = 400 \text{ L/min}$$

### 5.2.8. Vazão Total para Combate da Bacia de Contenção 1

A vazão total para a proteção e combate a incêndio na bacia 1 da Tancagem do Posto de Abastecimento de Locomotivas, deve ser igual ao somatório da vazão do sistema de resfriamento mais a vazão do sistema de aplicação de espuma.

$$\text{Vazão Total} = \text{Sistema de Resfriamento} + \text{Câmara de Espuma} + \text{Bacia de Contenção}$$



$$\text{Vazão total} = 1201\text{L/min} + 465,3\text{L/min} + 400\text{L/min} = 2066,2 \text{ L/min} = 124 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} \text{ Bacia 1} = 124 \text{ m}^3/\text{h}$$

### 5.3. Combate na bacia 2

Na bacia 2 do Posto de Abastecimento, estão instalados quatro tanques de Óleo Diesel S10 de 125m<sup>3</sup> cada. A bacia tem uma área aproximada de 500m<sup>2</sup>.

Tabela 5.19 – Dados da Bacia de Contenção 2 (Autores, 2021)

Tanque	Diâmetro (m)	Altura (m)	Altura da Calota (m)	Distância entre Costados (m)
TQ-01	5	6,5	1	6
TQ-02	5	6,5	1	6
TQ-03	5	6,5	1	6
TQ-04	5	6,5	1	6

#### 5.3.1. Sistema de Resfriamento dos Tanques

Conforme já exposto no item 5.2.1, segue-se a tabela 5.10 para obter o tipo de sistema de combate a incêndio, por meio da vazão, altura do tanque e classe do líquido:

- Sistema de proteção: **Linhas manuais;**

Tabela 5.20 – Sistema Fixo de Combate a Incêndio com Água para Tanques (NT-25/2021)

Tipo de tanque	Classe do líquido	Altura do tanque m	Capacidade do tanque m <sup>3</sup>		
			De 20 a 60	> 60 a 120	> 120
Vertical/horizontal	I	≥ 9	CM	Aspersor <sup>a</sup>	Aspersor <sup>a</sup>
		< 9	LM ou CM	LM ou CM	LM ou CM
Vertical/horizontal	II	≥ 9	CM	CM	Aspersor <sup>a</sup>
		< 9	LM ou CM	LM ou CM	LM ou CM
Vertical/horizontal	IIIA	≥ 9	-	-	Aspersor <sup>a</sup>
		< 9	-	-	LM ou CM
Vertical/horizontal	IIIB	≥ 9	-	-	-
		< 9	-	-	-

**Legenda:**  
LM - Linhas manuais de mangueiras a partir de hidrantes;  
CM - canhão-monitor.

- Cálculo das áreas:

$$\text{Área do costado } (A_{CT}) = \pi \times D \times h = \pi \times 5\text{m} \times 6,5\text{m} = 102,1\text{m}^2$$

$$\text{Área teto } (A_{TT}) = \pi \left( \frac{D^2}{4} + h_t^2 \right) = \pi \left( \frac{8,5^2}{4} + 1^2 \right) = 22,8\text{m}^2$$

### 5.3.2. Análise do Cenário de Incêndios

Na bacia 2, tem-se quatro tanques de mesmas dimensões, que estão espaçados igualmente, ou seja, são vizinhos, pois atendem aos requisitos do item 5.1 e, portanto, têm a mesma criticidade, considerou-se o cenário do TQ-01 como sendo o tanque em chamas como referência.



Figura 5.31 – Visão Aérea da Bacia 1 (Google Earth website, 2021)

Na tabela abaixo, é mostrado o cenário de incêndio da bacia 2 da área do Posto de Abastecimento de Locomotivas.

Tabela 5.21 – Dados dos Tanques Presentes na Bacia 2 (Autores, 2021)

Tanque em chamas	Cenário	Distâncias (m)				Tanques Vizinhos
		TQ-01	TQ-02	TQ-03	TQ-04	
TQ-1	A	-	6	6	8	2 de 125 m <sup>3</sup>
TQ-2	B	6	-	6	6	2 de 125 m <sup>3</sup>
TQ-3	C	6	6	-	6	2 de 125 m <sup>3</sup>

TQ-4	D	6	6	6	-	2 de 125 m <sup>3</sup>
------	---	---	---	---	---	-------------------------

Como os cenários têm a mesma criticidade, considerou-se o cenário “A” como referência.

### 5.3.2.1. Análise do tanque em chamas

A figura 5.32, item 5.2.1.1 do PNR-16, define a taxa de descarga de água para tanques verticais em que o sistema de combate a incêndio é por canhão monitor.

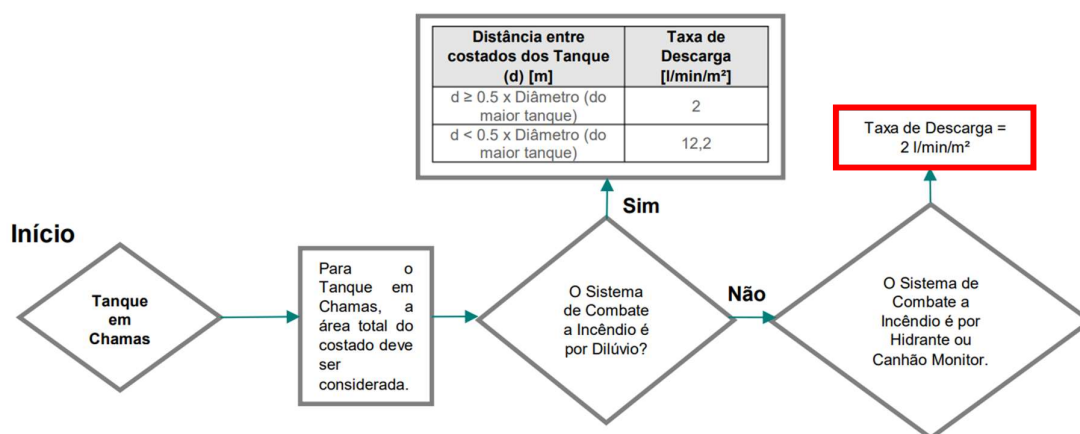


Figura 5.32 – Taxas de Descarga de Água para Tanques (PNR-16, 2020)

- Cálculo das vazões:

$$\text{Vazão Costado (Q}_{CTC}) = A_{CT} \times 2 \text{ L/min/m}^2 = 102,1\text{m}^2 \times 2 \text{ L/min/m}^2 = 204,2 \text{ L/min}$$

$$\text{Vazão Teto (Q}_{TTC}) = A_{TT} \times 2 \text{ L/min/m}^2 = 22,8\text{m}^2 \times 2/\text{min/m}^2 = 45,6 \text{ L/min}$$

### 5.3.2.2. Análise dos tanques vizinhos

Para cálculo da vazão necessária para resfriamento dos tanques verticais vizinhos, de acordo com os itens 6.2.2 da NBR 17505-7:2015 e 7.4.2.8 da NT-25/2021 do CBMMA, devem ser adotados a taxa de descarga de água de **5 L/min/m<sup>2</sup>**, para tanques resfriados por canhões monitores ou aplicadores manuais, cuja distância entre costados dos tanques seja menor ou igual a 8m, considerando a 1/3 da projeção horizontal de todos os tanques vizinhos, conforme tabela a seguir.



Tabela 5.22 – Área a Ser Resfriada dos Tanques Vizinhos por Aspersores (NBR 17505-7:2015)

Distância entre costados ( $d$ ) m	Taxa <sup>a, b</sup> L/min/m <sup>2</sup>
$d \leq 8$	5
$8 < d \leq 12$	3
$d > 12$	2

<sup>a</sup> Para até dois tanques vizinhos:  
Taxa por metro quadrado de metade do somatório das áreas do teto e costado dos tanques vizinhos. Para tanques de teto flutuante, não pode ser considerada a área do teto.

<sup>b</sup> Para mais de dois tanques vizinhos:  
Taxa por metro quadrado de um terço do somatório das áreas dos tetos e costados dos tanques vizinhos. Para tanques de teto flutuante, não podem ser consideradas as áreas dos tetos.

A figura 5.33, item 5.2.1.1 do PNR-16, define mesma taxa de descarga de água para tanques vizinhos em que a distância entre os costados dos tanques é menor ou igual a 8m, nas bacias ou diques de contenção que contenham mais de dois tanques vizinhos, através de um organograma.

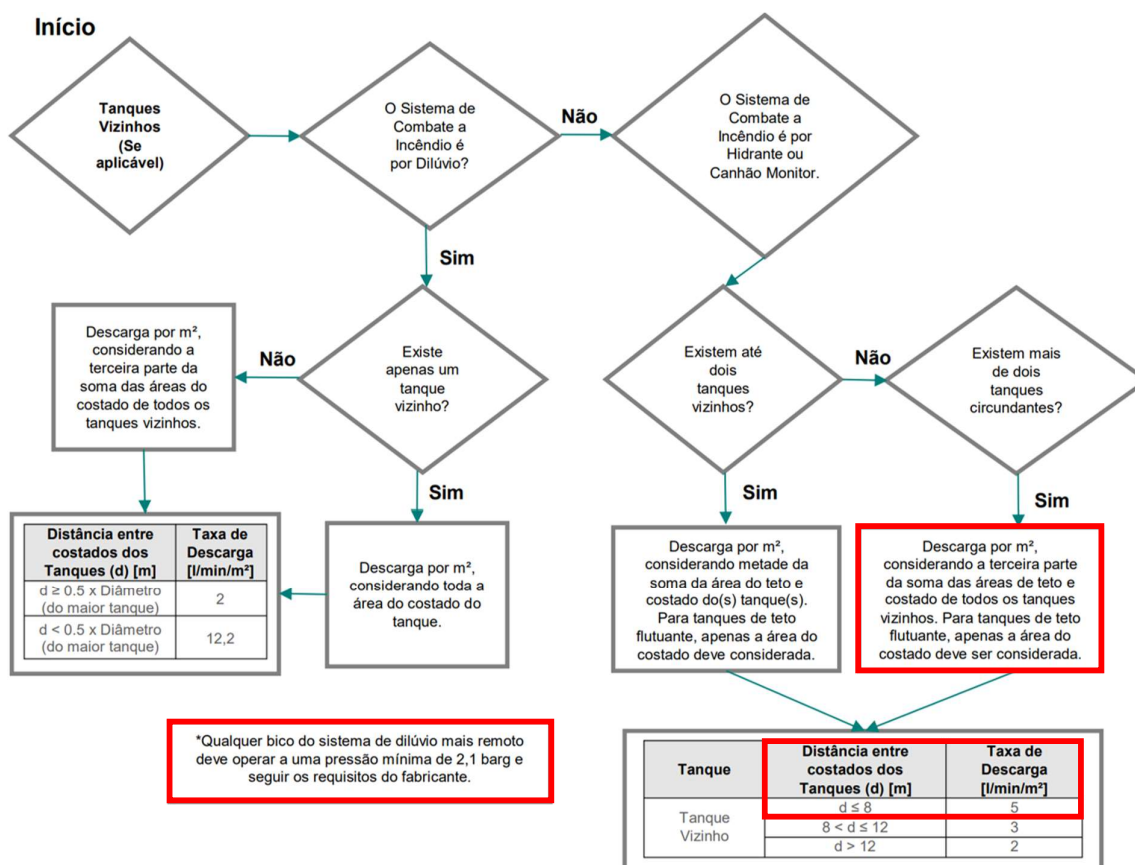


Figura 5.33 – Organograma das taxas de descarga de água para tanques (PNR-16, 2020)



- Cálculo das vazões:

$$\text{Vazão costado (Q}_{CTC}) = \frac{A_{CT}}{3} \times 5 \text{ L/min/m}^2 = 102,1\text{m}^2 \times 2 \text{ L/min/m}^2 = 170,2 \text{ L/min}$$

$$\text{Vazão teto (Q}_{TTC}) = \frac{A_{TT}}{3} \times 5 \text{ L/min/m}^2 = 22,8\text{m}^2 \times 2 \text{ L/min/m}^2 = 38 \text{ L/min}$$

### 5.3.3. Vazão Total para Resfriamento dos Tanques Verticais da Bacia 2

De acordo com as análises realizadas, através do PNR-16, NBR-17505-7:2015 e NT-25/2021, têm-se os seguintes resultados:

Tabela 5.23 – Vazões necessárias (Autores, 2021)

TAG	Superfície Lateral (m <sup>2</sup> )	Superfície Teto (m <sup>2</sup> )	Vazão dos Costados (L/min)	Vazão dos Tetos (L/min)	Vazão Total (L/min)
TQ – 01	102,1	22,8	204,2	45,6	874,15
TQ – 02	102,1	22,8	170,2	38	
TQ – 03	102,1	22,8	170,2	38	
TQ – 04	102,1	22,8	170,2	38	

A vazão total para resfriamento dos tanques verticais de 500m<sup>3</sup> da bacia 1 é de 874,15 L/min ou 52,4 m<sup>3</sup>/h.

$$Q_{\text{Resfriamento Bacia 2}} = 874,15 \text{ L/min}$$

### 5.3.4. Sistema de Aplicação de Espuma

#### 5.3.4.1. Proteção por Câmara de Espuma

Os mesmos passos do item 5.2.6 serão seguidos para o dimensionamento do sistema de aplicação de espuma da bacia 2. Diante disso, é obtido:

- Altura dos tanques > 6 metros e diâmetro < 9 metros, logo: **Necessita de canhões monitores e câmaras de espuma;**
- A quantidade mínima de câmaras de espuma por tanque: **1 câmara de espuma;**



- A taxa mínima de aplicação da câmara de espuma: **4,1 L/min/m<sup>2</sup>**;
- O tempo mínimo de aplicação: **30 minutos**;
- Cálculo das áreas:

$$\text{Área da secção transversal do tanque (A}_{ST}) = \pi \times \left(\frac{D^2}{4}\right) = \pi \times \left(\frac{5^2}{4}\right) = 19,6\text{m}^2$$

Logo, a vazão da câmara de espuma dos tanques é:

$$\text{Vazão da Câmara de Espuma (Q}_{CE}) = \text{Taxa} \times \text{Área transversal (A}_{ST}) \times \text{N}^{\circ} \text{ de Tanques na Bacia de Contenção} = 4,1\text{L/min/m}^2 \times 19,6\text{m}^2 \times 4 = 322 \text{ L/ min}$$

$$\mathbf{Q}_{CE\text{bacia 2}} = \mathbf{322 \text{ L/ min}}$$

- Concentração de espuma = 3%;
- Vazão LGE = 3% x 322 = 9,7 L/min;
- Vazão água = 97% x 322 = 312,35 L/min.

#### 5.3.4.2. Proteção da Bacia de Contenção

Prosseguindo com o combate na bacia 2, pode-se retirar das tabelas 5.17 e 5.18 os seguintes dados:

- Como o diâmetro do maior tanque é menor que 36 metros: **Mínimo de 2 aplicadores manuais**;
- Tempo de aplicação de espuma: **20 minutos**;

Logo, a proteção da bacia de contenção 1 será realizada com 2 canhões monitores de espuma, com vazão total (Q<sub>BC</sub>) de 400L/min.

- Vazão para Bacia de Contenção (Q<sub>BC</sub>) = 400L/min;
- Vazão de LGE = 3% x 400 = 12 L/min;
- Vazão água = 97% x 400 = 388 L/min;

$$\mathbf{Q}_{BC\text{ Bacia 2}} = \mathbf{400\text{L/min}}$$



### 5.3.5. Vazão Total para Combate da Bacia de Contenção 2

A vazão total para a proteção e combate a incêndio na bacia 2 da Tancagem do Posto de Abastecimento deve ser igual ao somatório da vazão do sistema de resfriamento mais a vazão do sistema de aplicação de espuma.

Vazão Total = Sistema de Resfriamento + Câmara de Espuma + Bacia de Contenção

Vazão total = 874,15L/min + 322L/min + 400L/min = 1596,2 L/min = 95,80 m<sup>3</sup>/h

$$Q_{TOTAL} \text{ Bacia 2} = 95,80 \text{ m}^3/\text{h}$$

### 5.4. Combate na bacia 3

Na bacia 3 do Posto de Abastecimento, estão instalados seis tanques horizontais de Óleo de Lubrificante de 15m<sup>3</sup> cada. A bacia tem uma área aproximada de 300m<sup>2</sup>.

Tabela 5.24 - Dados da bacia 3 (Autores, 2021)

Tanque	Diâmetro (m)	Altura (m)	Distância entre Costados (m)
TQ – 01	2	5,5	1
TQ – 02	2	5,5	1
TQ – 03	2	5,5	1
TQ – 04	2	5,5	1
TQ – 05	2	5,5	1
TQ – 06	2	5,5	1

De acordo os itens 7.2.2.1.2 e 7.6.1 e tabela 7.1 da NT-25/2021 do CBMMA, não é requerida proteção por espuma e resfriamento para os tanques que armazenem produtos classes IIIB, independente do volume da instalação, assim como não é requerido proteção por espuma para bacias de contenção ou locais sujeitos a derramamento ou vazamento de produtos classe IIIB.



## 5.5. Dimensionamento do Volume do Reservatório de LGE

Para o dimensionamento do volume do tanque de LGE, primeiramente, se calcula a vazão do sistema de aplicação de espuma fixo (câmara de espuma) e aplicação manual de espuma (canhões monitores) para cada bacia de contenção e depois, multiplica-se estas vazões pelos tempos mínimos.

### 5.5.1. Volume de LGE para Bacia de Contenção 1

Neste item, será calculado o volume de LGE para aplicação fixa e manual de espuma (Câmara de Espuma e Canhões Monitores), como determina o Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Maranhão, Norma Brasileira 17505-7, e Padrão Normativo Regulamentador 16 (PNR-16).

#### A. Combate a Incêndio com Sistema de Aplicação Fixa de Espuma (Câmara de Espuma):

O volume de LGE é obtido através da multiplicação da vazão de espuma pela concentração de LGE e pelo tempo mínimo de aplicação de espuma (encontrados na tabela 5.16 do item 5.2.6.), portanto:

- Vazão Total de Espuma = 465,3 L/min;
- Concentração de LGE = 3%;
- Vazão de LGE = 14 L/min;
- Tempo Mínimo de Aplicação = 30 min (Tabela 5.16);
- Volume de LGE Necessário = 418,8 L.

#### B. Combate a Incêndio com Aplicação Manual de Espuma:

O volume de LGE é obtido através da multiplicação da vazão de espuma (item 5.3.2), pela concentração de LGE e pelo tempo mínimo de aplicação de espuma (obtido através da tabela 5.20 do item 5.3.2):

- Vazão Total de Espuma = 400 L/min;
- Concentração de LGE = 3%;
- Vazão de LGE = 12 L/min;



- Tempo Mínimo de Aplicação = 20 min (Tabela 5.18);
- Volume de LGE Necessário = 240 L.

#### 5.5.2. Volume de LGE para Bacia de Contenção 2

Da mesma forma que foi feito na bacia de contenção 1, será feito para a bacia de contenção 2:

##### **A. Combate a Incêndio com Sistema de Aplicação Fixa de Espuma (Câmara de Espuma):**

- Vazão Total de Espuma = 322 L/min;
- Concentração de LGE = 3%;
- Vazão de LGE = 9,7 L/min;
- Tempo Mínimo de Aplicação = 30 min (Conforme tabela 5.16);
- Volume de LGE Necessário = 289,8 L.

##### **B. Combate a Incêndio com Aplicação Manual de Espuma:**

- Vazão Total de Espuma = 400 L/min;
- Concentração de LGE = 3%;
- Vazão de LGE = 12L/min;
- Tempo Mínimo de Aplicação = 20 min (Conforme tabela 5.18);
- Volume de LGE Necessário = 240 L.

#### 5.5.3. Volume Total do Reservatório de LGE

Os projetos de sistemas de extinção por meio de espuma, devem prever a disponibilidade de duas vezes o volume total de LGE para combate, conforme determina a NBR 12615:2020. O volume total de LGE é encontrado através do somatório dos volumes de LGE requerido do combate pela câmara de espuma e canhões monitores da bacia 1 e 2, portanto:

$$\text{Volume Total de LGE} = 2 \times (418,8 + 240 + 289,8 + 240) = 2377,2\text{L} = 2,3772\text{m}^3$$

$$\mathbf{V_{\text{Total}}LGE = 2,3772 \text{ m}^3}$$



**Como 2.377,2 L não é um volume comercial, o volume do tanque de LGE deve ser 3000L ou 3m<sup>3</sup>.**

#### 5.6. Avaliação e verificação da Bomba e Análise Hidráulica do Sistema

Neste campo, será avaliado a bomba já existente no projeto atual, para atendimento de pressão e vazão durante o combate na área de Tancagem do Posto de Abastecimento de Locomotivas. A bomba avaliada é da fabricante KSB, modelo MULTITEC 125/5 – 10.2, velocidade de 1750 RPM, multi-estágio com 5 estágios, assim como motor elétrico de 150cv e motor a diesel de 175cv, vazão de 176m<sup>3</sup>/h, altura manométrica de 98mca e pressão de *shut-off* de 135mca.

Para verificação da bomba, será avaliado o combate nas bacias de contenção, considerando a não simultaneidade dos eventos e o maior risco predominante, como determina o Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Maranhão no item 7.2.3 da NT-25/2021. Desta forma, conforme roteiro de cálculos apresentados acima, o cenário de incêndio de maior risco e o mais desfavorável é o cenário de incêndio na bacia 1. Portanto, a bomba será analisada para atendimento ao ponto de operação do cenário de incêndio na bacia 1, com vazão de projeto de 124m<sup>3</sup>.

O dimensionamento do sistema deve ser realizado tendo como base a necessidade de água em cada local. Para o dimensionamento das tubulações, necessita-se conhecer as vazões em todos os trechos, além das pressões necessárias nos pontos de combate e a simultaneidade de utilização dos aparelhos de cada sistema.

A avaliação da bomba e do sistema de bombeamento será realizada através do software AFT Fathom 11. O cálculo hidráulico da somatória de perda de carga nas tubulações será executado pelo método de Darcy-Weisbach (item 2.7.4.2).

Para a análise hidráulica, o item 5.8.12 da NT-22/2021 do CBMMA exige que a velocidade máxima de água na tubulação de sucção e recalque das bombas de incêndio não deve ser superior a 3m/s e 5m/s, respectivamente, a qual deve ser calculada pela equação:



$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} \quad (2.6)$$

Onde:

- V – Velocidade do fluido (m/s);
- Q – Vazão do fluido (m<sup>3</sup>/s);
- A – Área interna da tubulação (m<sup>2</sup>).

Deve ser calculado o *Net Positive Suction Head* (NPSH), em casos de bombas de incêndio consideradas na condição de sucção positiva, e este deve ser maior ou igual ao NPSH requerido pela bomba de incêndio. Para cálculo do NPSH disponível na tubulação de sucção, deve-se considerar 1,5 vezes a vazão nominal do sistema. Na tabela 5.25 são apresentados todos os dados de entrada para modelagem do sistema no software AFT Fathom 11 e nas figuras 5.35, 5.36, 5.37, 5.38 e 5.39, os resultados da modelagem.

O AFT Fathom 11 é uma ferramenta de cálculo de dinâmica dos fluidos, usado para calcular a perda de carga e, conseqüentemente, a altura manométrica. A ferramenta de solução hidráulica do AFT Fathom utiliza o método de iteração matricial de Newton-Raphson para solucionar aplicações de fluxo em tubulações, aplicando a Equação de Bernoulli e de Número de Reynolds para os cálculos de atrito nas tubulações.

Portanto, o modelo hidráulico deve ser alimentado com informações dos comprimentos, diâmetros, elevações e acidentes (válvulas, curvas e acessórios) das tubulações, dados apresentados nas tabelas abaixo.

Tabela 5.25 - Dados de Entrada para Modelagem do Sistema (Autores, 2021)

Item	Valor	Unidade
Temperatura da Água	30	°C
Densidade da Água	996	kg/m <sup>3</sup>
Viscosidade da Água	0,8	cP
Pressão de Vapor Absoluta	4,28	kPa
Elevação do Nível na Sucção	32, 525	m





Pressão no Nível na Sucção	1,0	atm
Elevação do Nível de Descarga (Tancagem)	25,386	m
Elevação da Linha de Centro da Bomba	32, 525	m
Número de Bombas em Operação	1	-
Especificação do Material da Tubulação	ASTM A53-B	-
Diâmetro da Sucção	10”	Polegada
Diâmetro da Descarga	10”	Polegada
Rugosidade das Tubulações	0,1	mm
Capacidade do Tanque	550	m <sup>3</sup>
Comprimento Total da Tubulação	2410	m
Fator Perda (k)	26,85	-

Realizada a modelagem hidráulica do sistema, observou-se que com 5 estágios a bomba tem uma pressão de recalque maior que a permitida pelo item C.1.12 da NT-22/2021 do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Maranhão, no qual a pressão máxima de operação admitida em um sistema de combate a incêndio é 1000 kPa ou 10kgf/cm<sup>2</sup>. Portanto, para adequar o sistema as exigências do CBMMA, será necessária a modificação das características da curva da bomba. Como a bomba já existe, não será modificado as características do rotor, visando reduzir custos de implantação. A alteração da curva característica será realizada através da redução da quantidade de rotores ou estágios da bomba, ou seja, a bomba atual que tem 5 estágios passará a ter 4 estágios. Os gráficos abaixo mostram o comportamento da curva da bomba e curva do sistema.

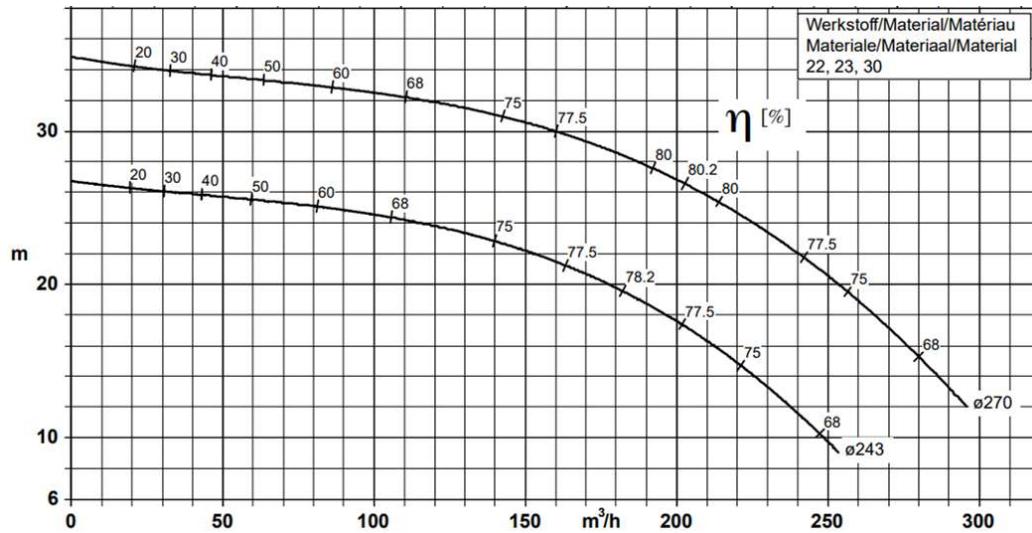


Figura 5.34 – Curva da Bomba MULTITEC 125 – 10.2 (KSB, 2011)

Curva da Bomba vs. Curva do Sistema

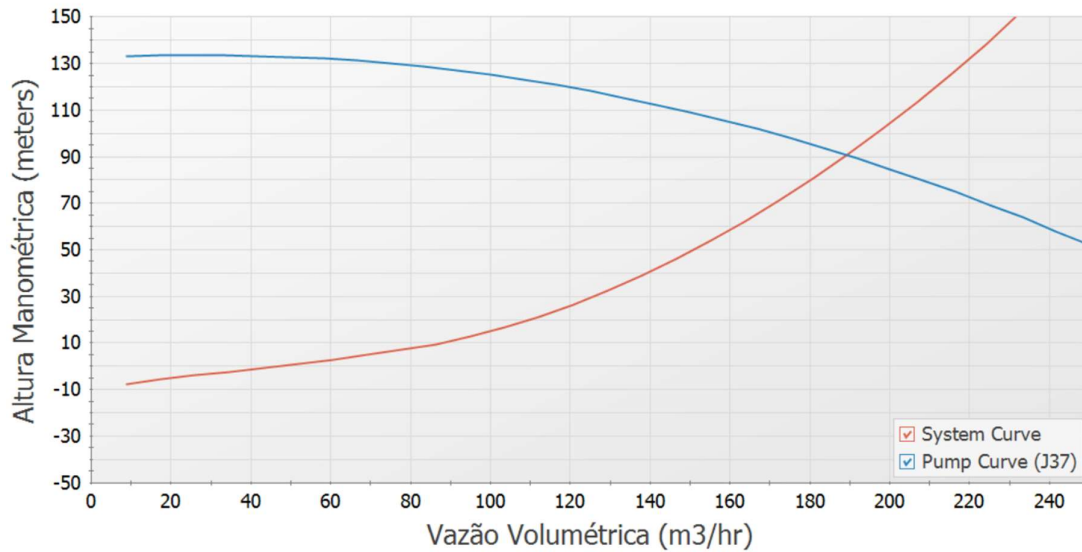


Figura 5.35 – Curva da Bomba com 5 Estágios vs. Curva do Sistema (Autores, 2021)

Com 5 estágios, o ponto de operação da bomba é de 189,2m<sup>3</sup>/h com 90,73mca, e a pressão de recalque da bomba é 9,861bar, como mostrado na tabela 5.26 e na figura 5.36.

Tabela 5.26 - Ponto de Operação da Bomba com 5 Estágios (Autores, 2021)

Jct	Results Diagram	Name	Vol. Flow (m <sup>3</sup> /hr)	Mass Flow (kg/sec)	dP (bar)	dH (meters)	Overall Efficiency (Percent)	Speed (Percent)	Overall Power (hp)	BEP (m <sup>3</sup> /hr)	% of BEP (Percent)
37	Show	Pump	189,2	52,47	8,883	90,73	79,60	100,0	78,63	191,7	98,71

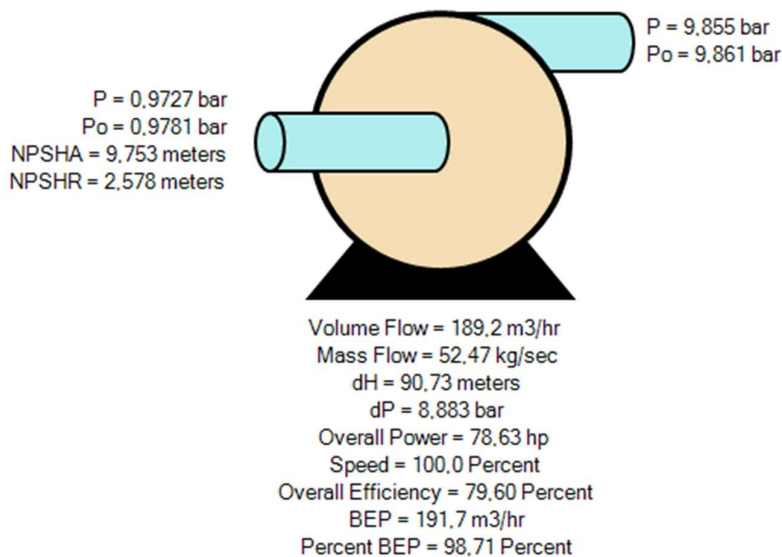


Figura 5.36 – Resultados da Bomba com 5 Estágios (Autores, 2021)

Como a pressão de recalque da bomba existente é 9,861 bar (transformando em mca, são 100,5 metros coluna d'água) e ultrapassa a pressão de descarga permitida pelo CBMMA de 100mca ou 1000kPa, será considerada a redução do número de estágios, sendo a alternativa mais viável a redução de apenas 1 estágio da bomba, como demonstra nos gráficos seguintes.

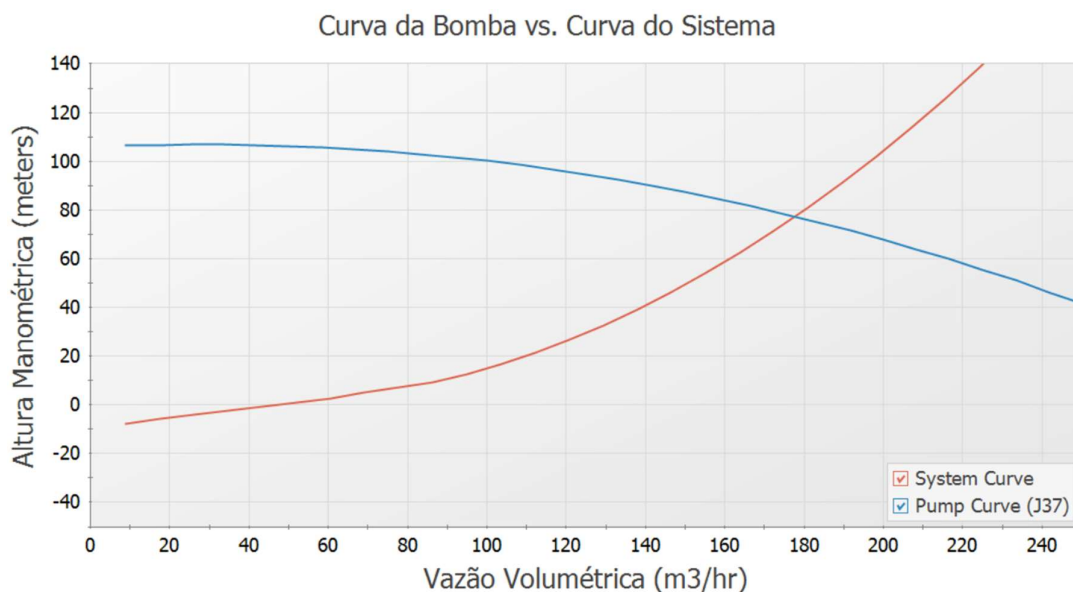


Figura 5.37 – Curva da Bomba com 4 Estágios vs. Curva do Sistema (Autores, 2021)

Com 4 estágios, o ponto de operação da bomba é 177,8 m<sup>3</sup>/h com 77,31mca, e a pressão de recalque da bomba é 8,551 bar, como mostra a tabela 5.27 e a figura 5.38.

Tabela 5.27 - Ponto de Operação da Bomba com 4 Estágios (Autores, 2021)

Jct	Results Diagram	Name	Vol. Flow (m <sup>3</sup> /hr)	Mass Flow (kg/sec)	dP (bar)	dH (meters)	Overall Efficiency (Percent)	Speed (Percent)	Overall Power (hp)	BEP (m <sup>3</sup> /hr)	% of BEP (Percent)
37	Show	Pump	177,8	49,29	7,568	77,31	79,16	100,0	63,30	191,7	92,74

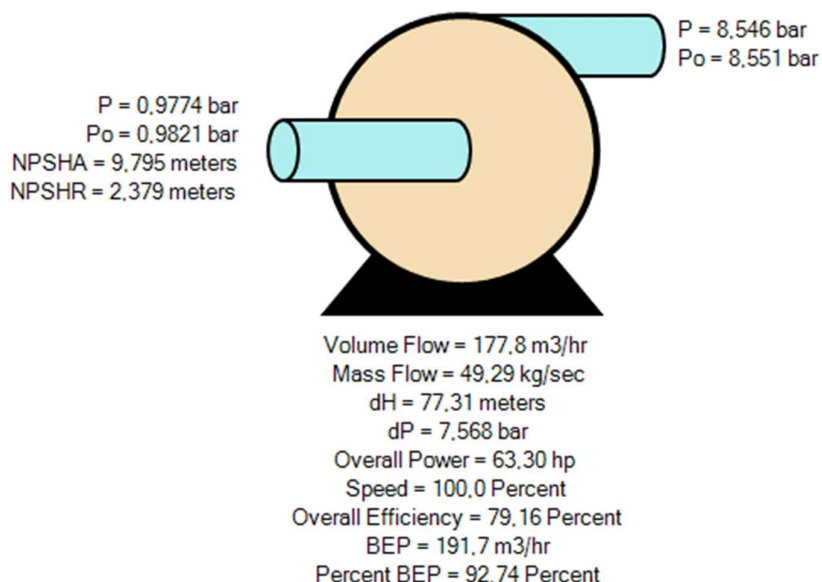


Figura 5.38 – Resultados da Bomba com 4 Estágios (Autores, 2021)

Para o combate na bacia 1 da Tancagem do Posto de Abastecimento de Locomotivas, a bomba tem um ponto de operação de 177,8 m<sup>3</sup>/h a 77,31mca, pressão de *shut-off* de 108mca, eficiência de 79,16% assim como uma potência consumida de 63,30hp. Abaixo será feita a verificação dos motores elétrico e diesel, e do tanque de combustível da bomba acionada por motor a combustão ciclo Diesel.

#### 5.6.1. Verificação da Pressão Máxima de Operação

A pressão máxima da rede, segundo o PNR-15 e a NT-22/2021, é a pressão de *shut-off* da bomba mais a pressão estática, oriunda da coluna máxima do tanque.

A pressão de *shut-off* da bomba existente é de 8,551 bar ou 855 kPa, enquanto a pressão estática é 62,5 kPa, totalizando 917,5 kPa, ou seja, o sistema está em conformidade com o item C.1.12 do NT-22/2021 do CBM-MA, que recomenda a utilização de bombas de incêndio com pressões inferiores a 100mca, ou 1000Kpa.

### 5.6.2. Dimensionamento da Bomba Jockey

De acordo com o item 5.2.2.5.4 do PNR-15, a pressão da bomba jockey deve ser igual à pressão de rotatividade (*shut-off*) da bomba principal mais a pressão estática máxima de suprimento.

A bomba atualmente instalada, KSB MEGANORM 32-160 mostrou que não atende a necessidade exigida pelo sistema, pois a pressão máxima da bomba é 4,7 kg/cm<sup>2</sup> e a pressão de *shut-off* da bomba principal é 8,720 kg/cm<sup>2</sup> e, portanto, será necessário selecionar outra bomba de pressurização.

A pressão de *shut-off* da bomba elétrica (principal) é de 855 kPa e a máxima pressão estática é 62,5 kPa, totalizando 917,5 kPa. O item C.1.13 da NT-25/2021 do corpo de bombeiros militar do estado do Maranhão, determina que a vazão máxima da bomba Jockey deve ser de 20 L /min (1,2 m<sup>3</sup>/h). Portanto, será selecionada a bomba da fabricante GRUNDFOS modelo CRI/CRN 5-10, ou similar, com motor de 3 kw, para substituição da bomba de pressurização KSB MEGANORM 32-160.

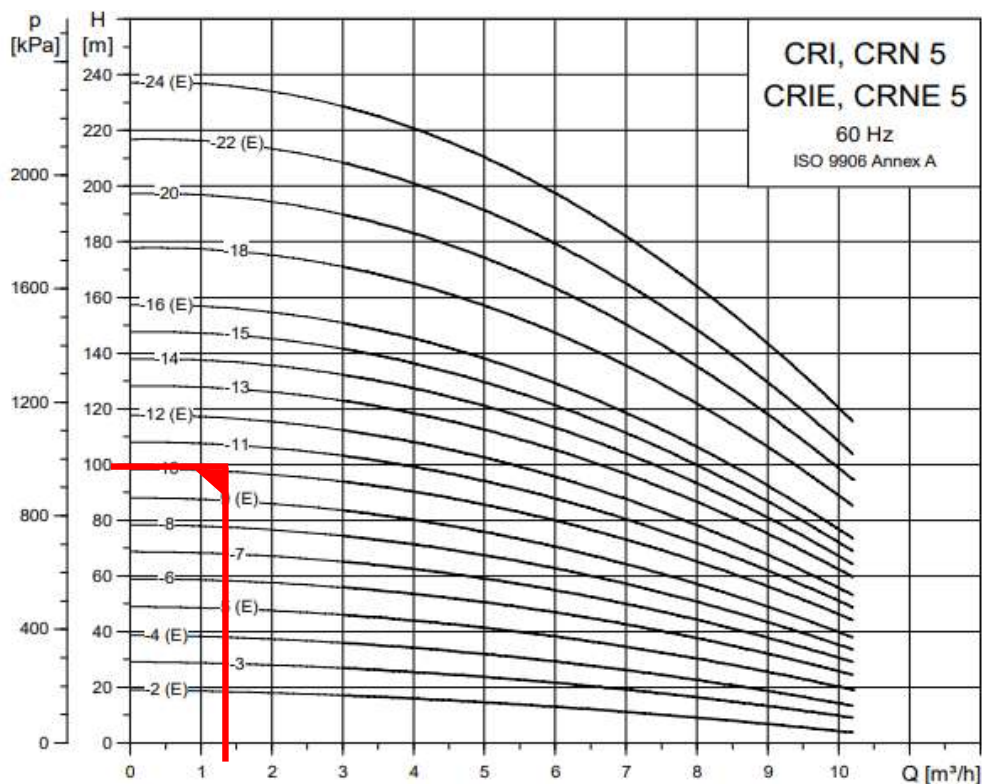


Figura 5.39 – Curva da Bomba CRI/CRN 5-10 (Grundfos, 2019)

Tabela 5.28 - Catálogo Técnico (Grundfos, 2019)

Modelo da bomba	Motor P <sub>2</sub> [kW]	CRI/CRN								
		Dimensão [mm]						Peso Líquido [kg]		
		PJE/CA		Flange DIN		D1	D2	D3	PJE/ CA	Flange DIN
B1	B1+B2	B1	B1+B2							
CRI(E)/CRN(E) 5-2	0,55	257	448	282	473	141	109	-	17	21
CRI/CRN 5-3	1,1	290	521	315	546	141	109	-	22	26
CRI(E)/CRN(E) 5-4	1,1	317	548	342	573	141	109	-	23	27
CRI(E)/CRN(E) 5-5	1,5	360	641	385	666	178	110	-	30	34
CRI/CRN 5-6	2,2	387	708	412	733	178	110	-	31	35
CRI/CRN 5-7	2,2	414	735	439	760	178	110	-	31	35
CRI/CRN 5-8	2,2	441	762	466	787	178	110	-	32	36
CRI(E)/CRN(E) 5-9	2,2	468	789	493	814	178	110	-	32	37
CRI/CRN 5-10	3	500	835	525	860	198	120	-	37	42
CRI/CRN 5-11	3	527	862	552	887	198	120	-	38	42
CRI(E)/CRN(E) 5-12	3	554	889	579	914	198	120	-	39	43
CRI/CRN 5-13	4	581	953	606	978	220	134	-	50	54
CRI/CRN 5-14	4	608	980	633	1005	220	134	-	51	55

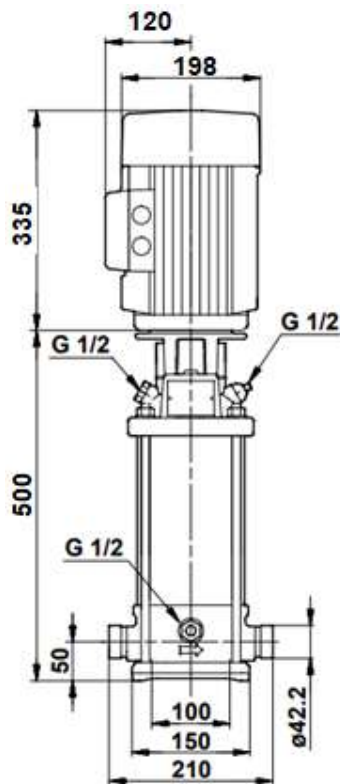


Figura 5.40 – Bomba CRI/CRN 5-10 (Grundfos, 2019)



### 5.6.3. Verificação do Motor Elétrico da Bomba Principal

Tal como regido pelo PNR-15, os acionadores da bomba de incêndio devem fornecer uma potência 10% maior que a necessária para atender ao ponto de curva da bomba correspondente a 150% do fluxo de projeto. Neste caso, como a vazão da bomba de combate a incêndio é de 177,8 m<sup>3</sup>/h, a vazão para dimensionamento do motor seria 266,7 m<sup>3</sup>/h, entretanto a curva da bomba não cobre este ponto, então será utilizado o último ponto na curva da bomba ou ponto crítico, 250m<sup>3</sup>/h. Nesta vazão a eficiência da bomba seria em torno de 68% e a altura manométrica seria aproximadamente 40 mca e a potência consumida:

$$N = \frac{Q \cdot H_f \cdot \rho}{270 \cdot \eta} \cdot 1,1 = \frac{250 \cdot 40 \cdot 0,996}{270 \cdot 0,68} \cdot 1,1 = 60\text{hp ou } 60,83\text{cv}$$

Como as potências consumida e calculada são inferiores a potência instalada, o motor existente de 150cv atende à demanda do sistema de combate a incêndio.

### 5.6.4. Verificação do Motor Diesel da Bomba Stand-By

O PNR-15 requer que a potência do motor a combustão deve ser 10% superior a potência do motor elétrico. Como o motor elétrico especificado é de 150cv, o motor a combustão deve ser de potência superior a 165cv. O motor existente a combustão de ciclo Diesel tem potência de 175cv, logo o motor existente atende à demanda do sistema de combate a incêndio.

#### 5.6.4.1. Cálculo da Capacidade do Tanque de Combustível do Motor a Diesel

Conforme item 11.4.1.3 da NFPA 20, o volume mínimo do tanque de combustível deve ser equivalente a 1 gal/hp, acrescido de 5% para comportar a expansão de 5% de volume morto.

Logo, o volume do tanque para um motor 175cv ou 172,6hp será de 190 gal, ou 720L (litros), como o tanque existente tem 1000L, atende a demanda do sistema com autonomia de funcionamento de até 8h em plena carga, como determina o PNR-15.

#### 5.6.4.2. Seleção da Válvula de Alívio

As válvulas de segurança e alívio, do inglês *Pressure Safety Valve* (PSVs), protegem equipamentos que atuam nos processos cuja pressão de operação pode ultrapassar sua máxima pressão admissível de trabalho. As PSVs são utilizadas como um dos últimos dispositivos de segurança em uma planta, e, em caso de falha das mesmas, os equipamentos por elas protegidos



podem ser danificados, oferecendo risco de morte para as pessoas que trabalham no local. Por isso, faz-se necessário o correto dimensionamento dessas válvulas. (GOULART, 2012, pg.3)

A NFPA 20 exige a válvula de alívio seja dimensionada a vazão nominal do sistema. A tabela abaixo, extraída da NFPA 20, lista as vazões nominais. Como a bomba foi apenas redimensionada, a vazão nominal adotada será a máxima demanda hidráulica (124m<sup>3</sup> ou 2066,3 L/min), calculada no tópico 5.2.8.

Tabela 5.29 - Capacidade nominal das bombas (NFPA 20, 2021)

gpm	L/min	gpm	L/min
25	95	1,000	3,785
50	189	1,250	4,731
100	379	1,500	5,677
150	568	2,000	7,570
200	757	2,500	9,462
250	946	3,000	11,355
300	1,136	3,500	13,247
400	1,514	4,000	15,140
450	1,703	4,500	17,032
500	1,892	5,000	18,925
750	2,839		

#### 5.6.4.2.1. Pressão de Abertura da Válvula de Alívio Bomba Diesel

A NFPA 20 exige que nos sistemas que estejam instaladas uma bomba de incêndio de acionamento por motor a combustão do ciclo Diesel em que os 121% da pressão máxima de operação do sistema exceda a pressão para qual o sistema foi dimensionado (1Mpa ou 1000kPa), uma válvula de alívio de pressão deve ser instalada no recalque da bomba acionada por motor a combustão, para evitar sobre pressão, em função do aumento da velocidade do motor a combustão acima da velocidade nominal do motor.

Segundo a NFPA 20 item 4.20.1.2 a pressão de alívio não deve ser superior a pressão de *shut-off* acrescido da pressão estática, oriunda da coluna máxima do tanque, vezes 121%. Portanto:

$$\text{Pressão de alívio} = \text{Pressão Máxima de Operação (shut-off + pressão estática)} \times 121\%$$

$$\text{Pressão de alívio} = 917,5 \text{ kPa} \cdot 121\% = 1110,75 \text{ kPa}$$





Como a pressão de alívio ultrapassa o permitido pelo CBMMA, será instalado uma válvula de alívio no recalque da bomba acionada por motor diesel. E o set de pressão da válvula será de 10kgf/cm<sup>2</sup>.

#### 5.6.4.2.2. Dimensões da Válvula de Alívio Bomba Diesel

Como a vazão das bombas é de 2066,3L/min ou 124m<sup>3</sup>/h, deverá ser montada na descarga da bomba diesel uma válvula de alívio 4” x 6”, conforme mostrado na tabela 5.30.

Tabela 5.30 - Resumo dos dados da bomba de incêndio centrífuga (NFPA 20, 2021)

Pump Rating (gpm)	Minimum Pipe Sizes (Nominal) (in.)							
	Suction <sup>a,b,c</sup>	Discharge <sup>a</sup>	Relief Valve	Relief Valve Discharge	Meter Device	Number and Size of		Hose Header Supply
						Hose Valves	Nonthreaded Connections	
25	1	1	3/4	1	1/4	1 – 1/2	1 – 2/2	1
50	1 1/2	1 1/4	1 1/4	1 1/2	2	1 – 1 1/2	1 – 2 1/2	1 1/2
100	2	2	1 1/2	2	2 1/2	1 – 2 1/2	1 – 2 1/2	2 1/2
150	2 1/2	2 1/2	2	2 1/2	3	1 – 2 1/2	1 – 2 1/2	2 1/2
200	3	3	2	2 1/2	3	1 – 2 1/2	1 – 2 1/2	2 1/2
250	3 1/2	3	2	2 1/2	3 1/2	1 – 2 1/2	1 – 2 1/2	3
300	4	4	2 1/2	3 1/2	3 1/2	1 – 2 1/2	1 – 2 1/2	3
400	4	4	3	5	4	2 – 2 1/2	1 – 5	4
450	5	5	3	5	4	2 – 2 1/2	1 – 5	4
500	5	5	3	5	5	2 – 2 1/2	1 – 5	4
750	6	6	4	6	5	3 – 2 1/2	1 – 5	6
1000	8	6	4	8	6	4 – 2 1/2	1 – 5	6
1250	8	8	6	8	6	6 – 2 1/2	1 – 5	8
1500	8	8	6	8	8	6 – 2 1/2	1 – 5	8
2000	10	10	6	10	8	6 – 2 1/2	2 – 5 <sup>d</sup>	8
2500	10	10	6	10	8	8 – 2 1/2	2 – 5 <sup>d</sup>	10
3000	12	12	8	12	8	12 – 2 1/2	2 – 5 <sup>d</sup>	10
3500	12	12	8	12	10	12 – 2 1/2	3 – 5 <sup>d</sup>	12
4000	14	12	8	14	10	16 – 2 1/2	3 – 5 <sup>d</sup>	12
4500	16	14	8	14	10	16 – 2 1/2	3 – 5 <sup>d</sup>	12
5000	16	14	8	14	10	20 – 2 1/2	3 – 5 <sup>d</sup>	12

#### 5.7. Verificação da Reserva Técnica de Água para Combate ao Sinistro

O cálculo da capacidade do tanque é feito através da multiplicação da vazão total de combate (Q<sub>T</sub>), ou demanda de água, pelo tempo de combate. De acordo com o item 5.2.1.2.4 do PNR-16, essa demanda deve ser calculada considerando o resfriamento do tanque em chamas e dos tanques vizinhos, juntamente com aplicação de espuma no tanque vertical em chamas e em seu dique.

O suprimento de água deve considerar o tempo de combate a incêndio de acordo com a capacidade de armazenamento do produto, obtida através da soma dos volumes do tanque em chamas e dos tanques vizinhos, conforme a tabela abaixo.



Tabela 5.31 - Tempo de combate a incêndio em função da capacidade de armazenamento (PNR-16, 2020)

Capacidade de Armazenamento (CA) [m <sup>3</sup> ] <sup>(1)</sup>	Tempo [h]
CA ≥ 40000	6
10000 ≥ CA < 40000	4
20 ≥ CA < 10000	2

\*Capacidade de Armazenamento: 1000 m<sup>3</sup> de óleo Diesel S-10 (engloba tanque vizinho);

Diante disso, o tempo máximo de combate realizado será de 2 horas, portanto:

$$V_{\text{Reservatório}} = Q_T \times \text{Tempo} \quad (2.7)$$

$$V_{\text{Reservatório}} = 124\text{m}^3/\text{h} \times 2 \text{ h}$$

$$V_{\text{Reservatório}} = 248 \text{ m}^3$$

Como o volume total dos dois reservatórios existentes é de 550m<sup>3</sup>, logo, será atendida a demanda do sistema de 248 m<sup>3</sup>, ou 248.000 litros, e não precisará realizar a troca do ativo.

#### 5.8. Seleção bicos e Dimensionamento dos Anéis de Aspersão

O sistema de resfriamento dos dois tanques verticais de 500m<sup>3</sup> da bacia 1 será realizado através de anéis de aspersão de água e estes anéis serão compostos de um conjunto de bicos aspersores, portando para dimensionamento destes, primeiramente será definido a quantidade de bicos necessários para realizar o resfriamento dos dois tanques simultaneamente, após isso será calculado o fator “K” dos bicos e definido o modelo do bico, e por último será definido a quantidade de anéis e de bicos por anéis.

O fator “K” é calculado através da seguinte equação:

$$K = \frac{Q}{\sqrt{P}} \quad (2.8)$$

Onde:

- K – Coeficiente de descarga (L/min/bar<sup>1/2</sup>);
- Q – Vazão por bico aspersor (L/min);



- P – Pressão de descarga (bar);

#### 5.8.1. Seleção dos Aspersores do Sistema de Resfriamento dos Tanques da Bacia 1

Sabendo que o somatório das áreas da projeção horizontal dos tanques é de 600,46m<sup>2</sup> e considerando a área de cobertura efetiva do bico aspersor de 10m<sup>2</sup>, portanto é possível calcular a quantidade total de bicos para resfriamento dos tanques e o fator “K” de cada bico.

$$\text{Área de cobertura do bico aspersor (A}_B\text{)} = \frac{\pi \cdot (3,6\text{m})^2}{4} = 10,18\text{m}^2$$

$$\text{Quantidade de bicos} = \frac{A_T}{A_B} = \frac{600,46}{10,18} = 60 \text{ bicos}$$

A vazão total do sistema de resfriamento é 1201L/min, então a vazão por bico será 20L/min. O PNR-15 exige que a pressão no bico aspersor mais desfavorável seja 2,1bar, desta forma, para o cálculo do coeficiente de descarga ou fator “K” do bico aspersor a pressão de descarga dos bicos, será 2,1bar.

$$\text{Fator K} = \frac{Q}{\sqrt{P}} = \frac{20\text{L}/\text{min}}{\sqrt{2,1 \text{ bar}}} = 14 \text{ L}/\text{min}/\text{bar}^{1/2}$$

Entretanto, o fator “K” nominal mais próximo do fator “K” calculado é 17,2L/min/bar<sup>1/2</sup>, de acordo com a tabela 7 do PNR-15.

Tabela 5.32 - Valores Nominais de Fator K para Sistema de Dilúvio (PNR-15, 2020)

Bico (Referência comercial)	Valores nominais do Fator K, ((l/min)/bar <sup>1/2</sup> )	(l/min) @ 2,1 bar g	Tamanho da Rosca do Tubo Nominal, pol. (mm)
MV-10	17,2	18,06	1/2 ou 3/4 (15 ou 20)
MV-15	25,7	26,99	1/2 ou 3/4 (15 ou 20)
MV-19	36,6	38,43	1/2 ou 3/4 (15 ou 20)
MV-25	42,9	45,04	1/2 ou 3/4 (15 ou 20)
MV-33	56,6	59,43	3/4 (20)
MV-46	78,9	82,85	3/4 (20)

Portanto, foi selecionado do catálogo da fabricante Tyco Fire, os bicos aspersores para aspersão de água. modelo MV-10 com área de cobertura efetiva de aproximadamente 10m<sup>2</sup>.

Tabela 5.33 - Especificação dos Bicos (Tyco Fire, 2018)

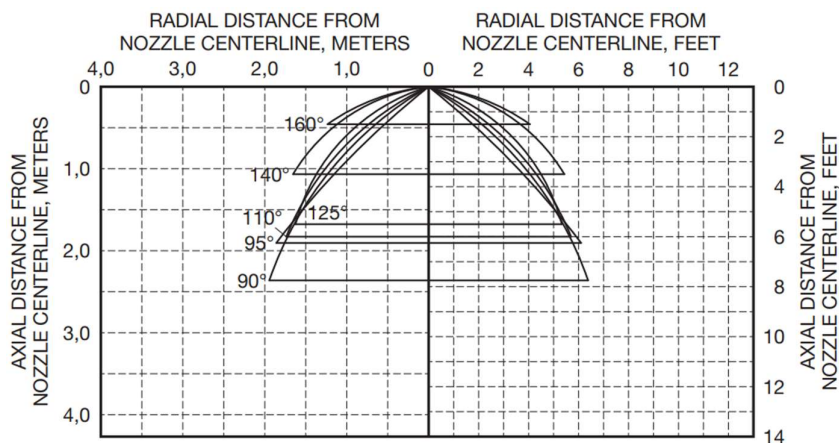
Orifice Size	Minimum Diameter mm (in.)	K-factor		Material			
		LPM/bar <sup>1/2</sup>	GPM/psi <sup>1/2</sup>	Stainless Steel	Brass and Lead Gunmetal LG2	Titanium	SMO254
MV10	5,15 (0.20)	17,3	1.2	1, 2	1, 2	1	1, 2
MV12	5,40 (0.21)	18,7	1.3	1, 2	1, 2	1	1, 2
MV15	6,35 (0.25)	25,9	1.8	1, 2	1, 2	1	1, 2
MV18	6,80 (0.27)	28,8	2.0	1, 2	1, 2	1	1, 2
MV19	7,15 (0.28)	31,7	2.2	1, 2	1, 2	1	1, 2
MV21	7,70 (0.30)	36,0	2.5	1, 2	1, 2	1	1, 2
MV25	8,35 (0.33)	41,8	2.9	1, 2	1, 2	1	1, 2
MV26	8,80 (0.34)	44,6	3.1	1, 2	1, 2	1	1, 2
MV30	9,00 (0.35)	49,0	3.4	1, 2	1, 2	1	1, 2
MV34	9,60 (0.38)	59,0	4.1	1, 2	1, 2	1	1, 2

Os bicos serão instalados na perpendicular em relação ao costado, ou seja, inclinados a 90°, e deverão estar distanciados até 1m do costado do tanque, para que possam ter uma área de cobertura efetiva de aproximadamente 10m<sup>2</sup> com ângulo do leque de 90°, conforme mostrado abaixo.

Tabela 5.34 – Distancia Axial Máxima (Tyco Fire, 2018)

Fixed Angle	MAXIMUM AXIAL DISTANCE FOR 90° SPRAY ANGLE IN METERS											
	Orifice Size											
	MV10	MV12	MV15	MV18	MV19	MV21	MV25	MV26	MV30	MV34	MV47	MV57
0°	2,4	2,1	3,8	3,7	3,0	3,5	3,4	3,5	3,9	3,8	3,9	4,1
45°	1,9	1,6	1,7	2,0	1,8	2,1	2,1	2,1	2,4	1,9	2,1	2,5
90°	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	1,7	1,5	1,4	1,7	1,7	1,8	2,3
135°	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	1,2	1,3	1,1	1,1	1,2	1,6

Tabela 5.35 - Área de Cobertura Efetiva (Tyco Fire, 2018)



GRAPH A  
TYPE MV10 DESIGN SPRAY PROFILES  
0° FIXED ANGLE, 4,1 BAR (60 PSI)

Desta forma, o sistema de resfriamento dos tanques deverá ser composto de 3 anéis de aspersão para cada tanque, com cada anel contendo 10 bicos aspersores, como mostra a tabela 5.36.

Tabela 5.36 - Quantidade de bicos por tanque (Autores, 2021)

TANQUES	QUANTIDADE DE ANEIS	QUANTIDADE DE BICOS POR ANEL	QUANTIDADE TOTAL DE BICOS
TQ-01	3	10	30
TQ-02	3	10	30

### 5.9. Seleção da Câmara de Espuma

As câmaras formadoras de espuma serão dimensionadas para serem instaladas na parte superior dos tanques de combustíveis verticais. Quando o incêndio iniciar um fluxo de solução de espuma será direcionado para o tanque diminuindo a oxigenação e conseqüentemente a proporção do incêndio.

#### 5.9.1. Câmara de Espuma para os Tanques da Bacia 1

Para a seleção das câmaras de espuma, necessita-se da vazão de água e espuma para ambas as bacias. O dimensionamento e seleção das câmaras, as placas de orifício devem ser dimensionadas de acordo com a vazão total da solução de água e espuma e pressão de projeto na entrada da câmara de espuma. O dimensionamento da placa de orifício deve ser realizado de acordo com a seguinte equação:

$$d = \sqrt{\frac{Q}{0,403 \cdot \sqrt{P}}} \quad (2.9)$$

Onde:

- d – Diâmetro da placa de orifício (mm);
- Q – Vazão de solução de água e espuma (L/min);
- P – Pressão na entrada da câmara de espuma (kgf/cm<sup>2</sup>);

De acordo com o tópico 5.3.1, é dada a vazão de água e espuma (465,3L/min). Através dos cálculos hidráulicos realizados no software AFT Fathom 11, a pressão na entrada da câmara de espuma é de 6,2kgf/cm<sup>2</sup>, portanto:

$$d = \sqrt{\frac{465,3}{0,403 \cdot \sqrt{6,2}}} = 21,5\text{mm}$$

Portanto, o diâmetro da placa de orifício será de 21,5 milímetros, desta forma, seleciona-se a câmara de espuma modelo MCS-9, da fabricante Kidde.

Tabela 5.37 - Dimensionamento da Câmara de Espuma (Kidde, 2019)

Modelo da Câmara	Limite	o Orifício	Pressão no aerador		Vazão de Solução
		mm	kgf/cm <sup>2</sup>	kPa	l/mim
MCS-9	Min.	15,76	2,1	207	143
	Máx.	23,01	7,0	690	560
MCS-17	Min.	23,01	2,1	207	303
	Máx.	31,04	7,0	690	1026
MCS-33	Min.	31,04	2,1	207	583
	Máx.	46,36	7,0	690	2373
MCS-55	Min.	45,92	2,1	207	1287
	Máx.	59,18	7,0	690	3917

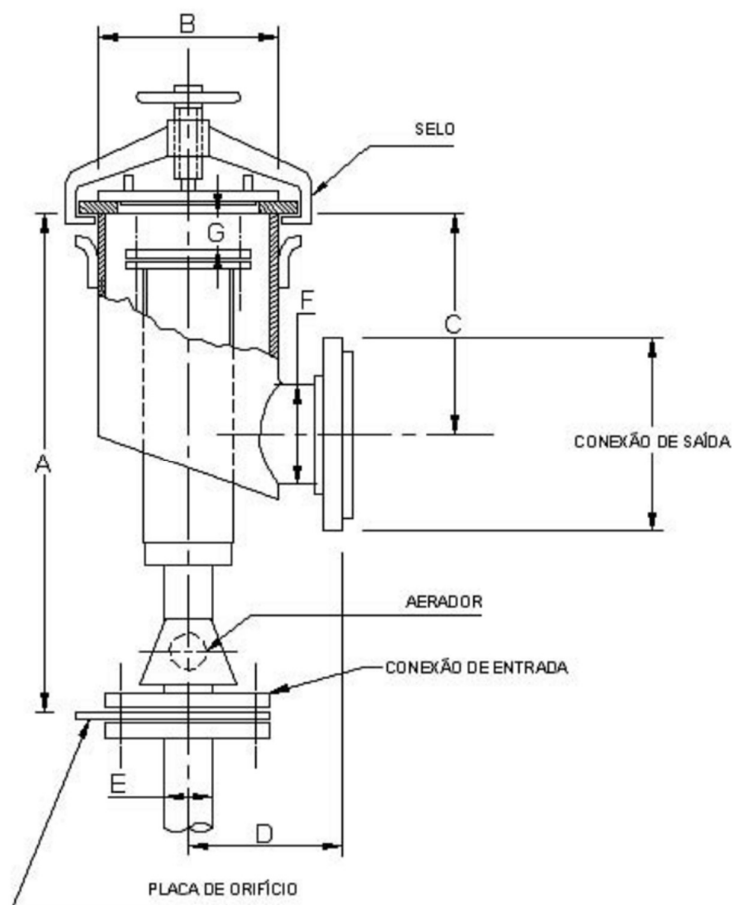


Figura 5.41 – Demonstração da câmara de espuma (Bucka, 2021)

Tabela 5.38 - Dimensionamento da Câmara de Espuma (Kidde, 2019)

Tipo	Tabela de Dimensões								
	A	B	C	D	E	F	G	Ø Nominal	
								Entrada	Saída
MCS-9	667	203	279	178	73	114	63	2.1/2"	4"
MCS-17	815	254	306	229	89	168	76	3"	6"
MCS-33	910	305	381	254	114	219	95	4"	8"
MCS-55	1084	406	438	305	168	273	127	6"	10"

### 5.9.2. Câmara de Espuma para os Tanques da Bacia 2

De acordo com o tópico 5.5.1, é dada a vazão de água e espuma (322L/min). Através dos cálculos hidráulicos realizados no software AFT Fathom 11, a pressão na entrada da câmara de espuma é de 7kgf/cm<sup>2</sup>, portanto:

$$d = \sqrt{\frac{322}{0,403 \cdot \sqrt{7}}} = 17,5\text{mm}$$

Portanto, o diâmetro da placa de orifício será de 17,5 milímetros, desta forma, seleciona-se a câmara de espuma modelo MCS-9, da fabricante Kidde.

Tabela 5.39 - Dimensionamento da Câmara de Espuma (Kidde, 2019)

Modelo da Câmara	Limite	Ø Orifício	Pressão no aerador		Vazão de Solução
		mm	kgf/cm <sup>2</sup>	kPa	l/mim
MCS-9	Min.	15,76	2,1	207	143
	Máx.	23,01	7,0	690	560
MCS-17	Min.	23,01	2,1	207	303
	Máx.	31,04	7,0	690	1026
MCS-33	Min.	31,04	2,1	207	583
	Máx.	46,36	7,0	690	2373
MCS-55	Min.	45,92	2,1	207	1287
	Máx.	59,18	7,0	690	3917

Tabela 5.40 - Dimensionamento da Câmara de Espuma (Kidde, 2019)

Tipo	Tabela de Dimensões								
	A	B	C	D	E	F	G	Ø Nominal	
								Entrada	Saída
MCS-9	667	203	279	178	73	114	63	2.1/2"	4"
MCS-17	815	254	306	229	89	168	76	3"	6"
MCS-33	910	305	381	254	114	219	95	4"	8"
MCS-55	1084	406	438	305	168	273	127	6"	10"

#### 5.10. Proporcionalizador de Espuma

Os proporcionalizadores de linha serão selecionados para succionar um fluxo controlado de líquido gerador de espuma na linha de água pressurizada da rede hidráulica, baseado no princípio de Venturi por isso requerem uma vazão fixa de operação e onde a pressão da água é adequada.

O sistema será dimensionado para o cenário crítico, cenário de incêndio na bacia 1, haja vista, que o sistema foi dimensionado para isto. O somatório das vazões do sistema do sistema de espuma da bacia 1 (câmara de espuma + canhões monitores) é a vazão de projeto do proporcionalizador (465,3L/min + 400L/min), ou seja, a vazão total do sistema é de 865,3L/min.





Para o dimensionamento do proporcionador de espuma, deverá ser calculado o fator “K”, expresso através da seguinte equação:

$$K = \frac{Q}{\sqrt{P}}$$

Onde:

- K – Coeficiente de descarga (gpm/psi<sup>1/2</sup>);
- Q – Vazão do proporcionador (gpm);
- P – Pressão de entrada no proporcionador (psi);

$$K = \frac{228,6 \text{ gpm}}{\sqrt{93,2 \text{ psi}}} = 23,7$$

Portanto, o proporcionador selecionado é o PL-950, conforme tabela 5.41.

Tabela 5.41 - Dimensionamento do proporcionador de espuma (Kidde, 2019)

Tipo	Tabela de dimensões (mm)								Vazão		Peso (kg)		Fator K
	A	B	C	D	E	F	G	H	lpm	Usgpm	Rosca	Flang.	(1)
PL-150	1 1/2"	1/2"	1 1/2"	46	63	132	253	330	185	49	3	6	4,4
PL-250	1 1/2"	1/2"	1 1/2"	46	64	133	261	338	284	75	3	6	6,7
PL-350	2 1/2"	1/2"	2 1/2"	51	73	140	362	432	379	100	6	10	8,9
PL-550	2 1/2"	1"	2 1/2"	60	105	172	403	473	568	150	9	13	15,0
PL-650	2 1/2"	1"	2 1/2"	60	105	172	403	473	644	170	9	13	17,0
PL-700	2 1/2"	1"	2 1/2"	60	105	172	403	473	698	185	9	13	18,5
PL-750	2 1/2"	1"	2 1/2"	60	105	172	403	473	757	200	9	13	20,0
PL-950	2 1/2"	1"	2 1/2"	60	105	172	403	473	946	250	9	13	25,0
PL-1100	2 1/2"	1"	3"	63	114	181	460	530	1136	300	11	18	30,0
PL-1300	2 1/2"	1"	3"	63	114	181	460	530	1325	350	11	18	35,5
PL-1500	2 1/2"	1"	3"	63	114	181	460	530	1514	400	11	18	40,0
PL-1700	3"	1 1/4"	4"	68	122	187	506	574	1703	450	16	26	45,0
PL-1900	3"	1 1/4"	4"	68	122	187	506	574	1893	500	16	26	50,0



## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante o desenvolvimento do trabalho, foi realizado o projeto do Sistema de Combate a Incêndio da área de tancagem de um Terminal Ferroviário como proposto inicialmente. Diante disso, neste capítulo será feito um resumo dos dados que foram obtidos no decorrer do capítulo anterior.

### 6.1. Bacia 1

Na bacia 1 do posto de abastecimento, estão instalados 2 tanques de Óleo Diesel de 500m<sup>3</sup> cada (8,5 m de diâmetro x 9 m de altura). A bacia tem uma área aproximada de 700m<sup>2</sup>.

Proteção por resfriamento (Aspersores – Dilúvio):

Área do costado ( $A_{CT}$ ) = 240,33m<sup>2</sup>;

Área teto ( $A_{TT}$ ) = 59,9m<sup>2</sup>;

Vazão Costado ( $Q_{CTC}$ ) = 480,7 L/min (Vazão igual para tanque em chamas e tanques vizinhos);

Vazão Teto ( $Q_{TTC}$ ) = 119,8 L/min (Vazão igual para tanque em chamas e tanques vizinhos);

$Q_{\text{Resfriamento Bacia 1}}$  = 1201 L/min;

Proteção por espuma (Câmaras de espuma e Canhões Monitores):

- Combate com 1 Câmara de Espuma:

$Q_{CE}$  Bacia 1 = 465,3 L/min;

Vazão LGE = 14 L/min;

Vazão água = 451,3 L/min.

- Combate na Bacia de contenção com 2 Canhões Monitores:

$Q_{BC}$  = 400L/min;

Vazão de LGE = 12 L/min;

Vazão água = 388 L/min;

$Q$  Bacia 1 = 400 L/min;

$Q_{\text{TOTAL}}$  Bacia 1 = 2.066,2 L/min ou 124 m<sup>3</sup>/h



## 6.2. Bacia 2 (Linhas Manuais ou Canhões Monitores)

Na bacia 2 do Posto de Abastecimento, estão instalados 4 tanques de Óleo Diesel de 125m<sup>3</sup> cada (5 m de diâmetro x 6,5 m de altura x 1 m de altura da calota). A bacia tem uma área aproximada de 500m<sup>2</sup>.

Proteção por resfriamento: (Linhas manuais):

$$\text{Área do costado (A}_{CT}) = 102,1 \text{ m}^2;$$

$$\text{Área teto (A}_{TT}) = 22,8 \text{ m}^2;$$

$$\text{Vazão Costado (Q}_{CTC}) = 204,2 \text{ L/min (Tanque em chamas);}$$

$$\text{Vazão Teto (Q}_{TTC}) = 45,6 \text{ L/min (Tanque em chamas);}$$

$$\text{Vazão costado (Q}_{CTC}) = 170,2 \text{ L/min (Tanque vizinho);}$$

$$\text{Vazão teto (Q}_{TTC}) = 38 \text{ L/min (Tanque vizinho);}$$

$$Q_{\text{Resfriamento Bacia 2}} = 874,15 \text{ L/min};$$

Proteção por espuma (Câmaras de espuma e Canhões Monitores):

- Combate com 1 Câmara de Espuma:

$$Q_{CE\text{bacia 2}} = 322 \text{ L/min}$$

$$\text{Vazão LGE} = 9,7 \text{ L/min}$$

$$\text{Vazão água} = 312,35 \text{ L/min}$$

- Combate na Bacia de contenção com 2 Canhões Monitores:

$$Q_{BC} = 400 \text{ L/min};$$

$$\text{Vazão de LGE} = 12 \text{ L/min};$$

$$\text{Vazão água} = 388 \text{ L/min};$$

$$Q_{\text{Bacia 1}} = 400 \text{ L/min};$$

$$Q_{\text{TOTAL Bacia 2}} = 1.595,2 \text{ L/min ou } 95,80 \text{ m}^3/\text{h}$$



### 6.3. Volume do reservatório de LGE

O reservatório dimensionado de 3 m<sup>3</sup> (volume comercial), atende às condições necessárias das bacias 1 e 2.

### 6.4. Análise das bombas:

#### 6.4.1. Bomba Elétrica Principal:

O ponto de operação da bomba é 177,8 m<sup>3</sup>/h com 77,31mca, e a pressão de recalque da bomba é 8,551 bar.

#### 6.4.2. Bomba Jockey:

Foi selecionada a bomba da fabricante GRUNDFOS modelo CRI/CRN 5-10, com motor de 3 kw, curva que aponta vazão aproximada de 1,2 m<sup>3</sup>/h e pressão de recalque um pouco abaixo de 1.000 Kpa.

### 6.5. Análise dos Motores:

#### 6.5.1. Motor da bomba elétrica principal:

$$N = 60 \text{ hp}$$

Visto que o projeto demanda um motor de 60 hp (60,83 cv), não há necessidade de se trocar o motor atual, que possui 150 cv de potência, portanto:

#### 6.5.2. Motor da bomba Stand-by (a diesel)

Conforme item 5.8.4, o motor da bomba à combustão escolhido foi de 175 cv.

##### 6.5.2.1. Volume do tanque de combustível do motor da bomba Stand-by

$V = 1000 \text{ L}$ , com autonomia de até 8h em plena carga.

### 6.6. Reserva Técnica de Água

O sistema requer um total de 248.000 litros ou 248 m<sup>3</sup>, que são devidamente respeitados pelos 2 tanques instalados atualmente, com capacidade de 550 m<sup>3</sup> de água.

#### 6.7. Bicos aspersores

- Quantidade de bicos = 60 bicos;
- Selecionado o modelo MV-10 da fabricante Tyco Fire, com área de cobertura efetiva de aproximadamente 10m<sup>2</sup> por bico;
- Ângulo de leque de 90°;
- Cada tanque terá 3 anéis de dispersão, com 10 bicos em cada.

#### 6.8. Câmaras de Espuma

- Placa de orifício calculada:  $d = 21,5$  mm;
- Selecionado modelo MCS-9, da fabricante Kidde:  $d = 23,01$  mm;

#### 6.9. Proporcionador de Espuma

- Coeficiente de descarga 23,7, por meio do qual foi possível o proporcionador o PL-950 do fabricante Kidde.

#### 6.10. Esquemas do SPCI

Portanto, a partir dos conhecimentos adquiridos no referencial teórico e nos resultados obtidos no desenvolvimento e ainda demonstrados neste capítulo, resta apenas demonstrar o esquema do projeto elaborado (figuras 5.42, 5.43, 5.44 e 5.45).

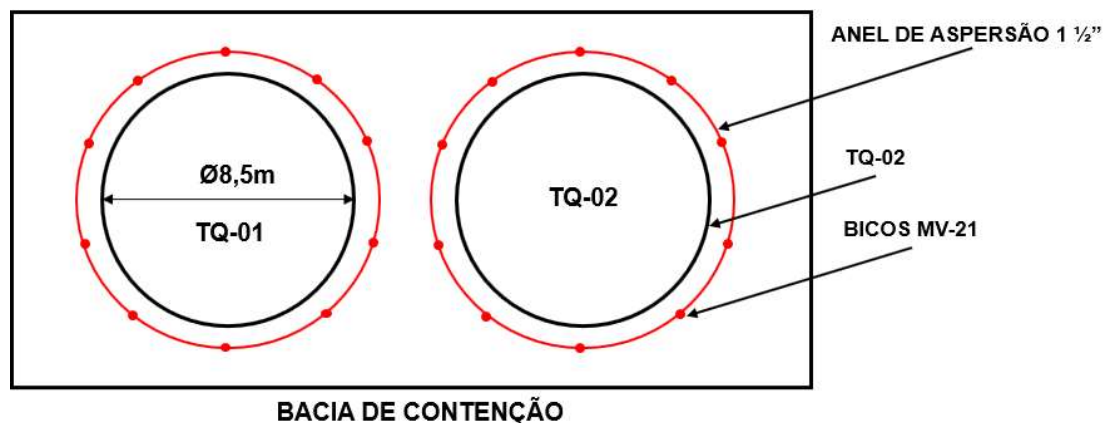


Figura 5.42 – Esquemático do sistema de resfriamento por anéis de aspersão da bacia 1 (Autores, 2021)

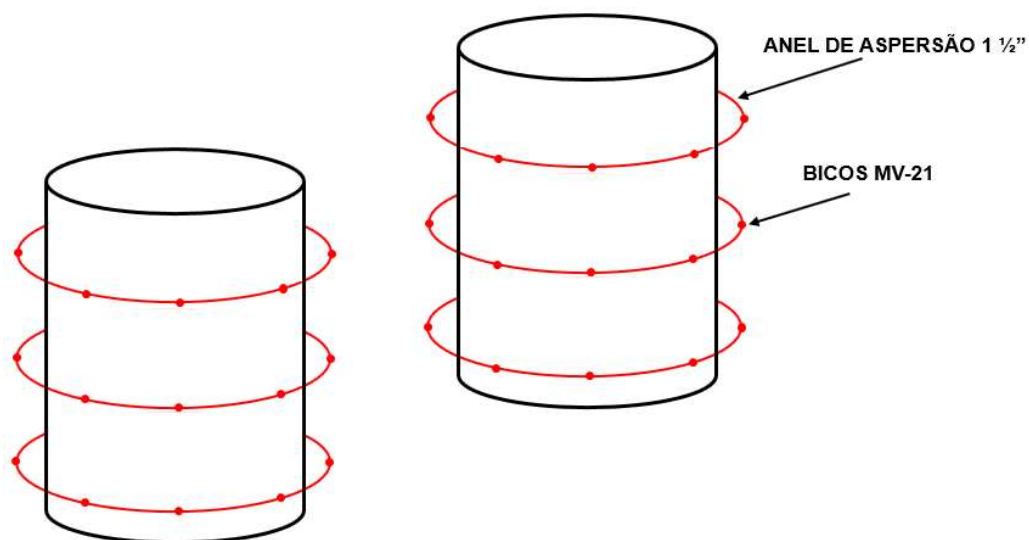


Figura 5.43 – Esquemático do sistema de resfriamento por anéis de aspersão da bacia 1 (Autores, 2021)

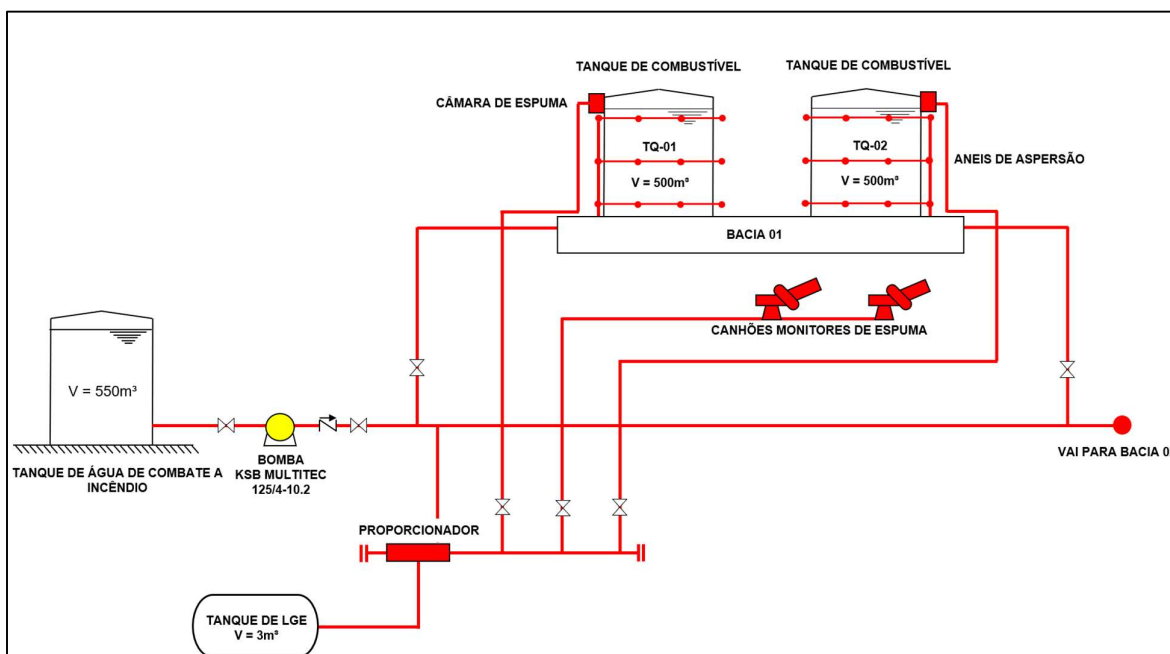


Figura 5.44 – Esquema do projeto de combate a incêndio na bacia 1 (Autores, 2021)

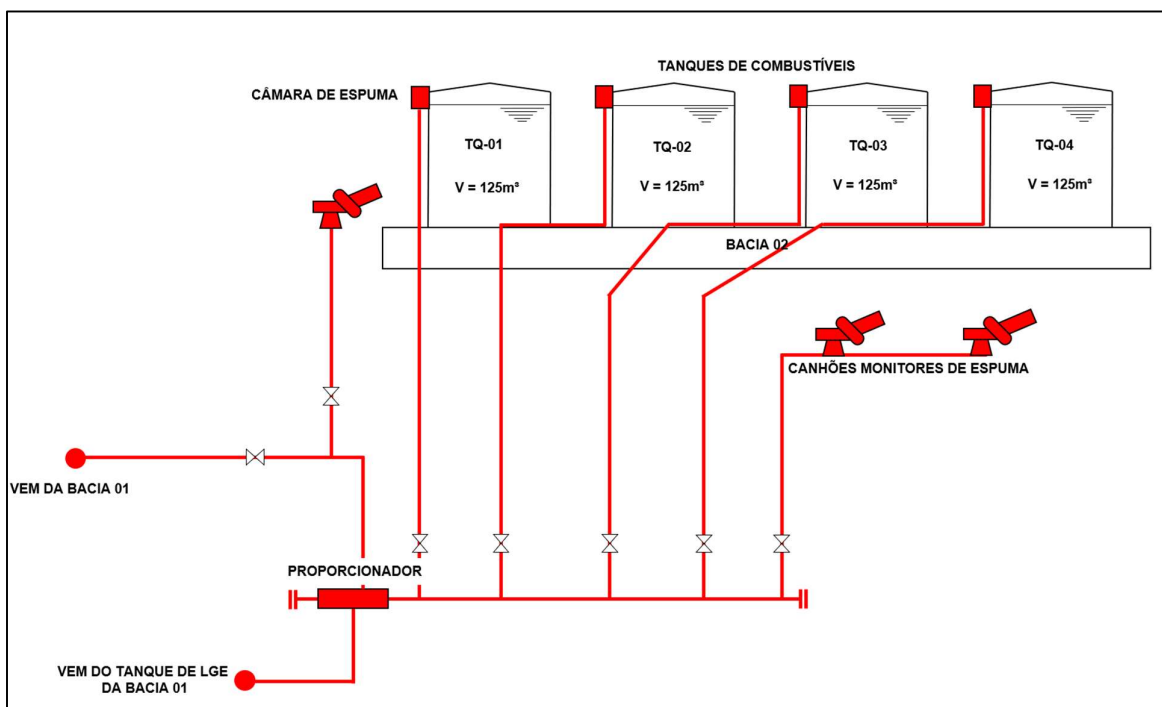


Figura 5.45 – Esquema do projeto de combate a incêndio na bacia 2 (Autores, 2021)



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



## 7. CONCLUSÃO

O problema inicial, junto com os objetivos propostos previa o desenvolvimento do sistema de combate a incêndio e avaliação dos itens e equipamentos de segurança da Tancagem do Posto de Abastecimento e Inspeção de Locomotivas de um Terminal Ferroviário, e indicava suas condições de uso e sua adequação junto às Normas Técnicas vigentes, visto que o local se encontrava com algumas instalações irregulares, e com o seu sistema de combate a incêndio defasado, devido a uma recente ampliação da área e de alguns equipamentos estarem danificados.

Como proposto, avaliou-se todos os itens que se encontravam irregulares e estes foram corrigidos de acordo com as recomendações do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Maranhão, baseado nas Normas Brasileiras e Internacionais. Todos os itens foram avaliados de acordo com as normas mais criteriosas e rígidas disponíveis no mercado. Conseguiu-se adequar a maioria dos equipamentos existentes, como: bombas de combate a incêndio, motores e reservatórios de água para combate a incêndio. Entretanto, as bombas principal e stand-by deverão ter a supressão de um estágio.

Os demais equipamentos aproveitados não necessitaram de modificações e os novos equipamentos foram dimensionados de acordo com as normas vigentes. Com a classificação do sistema, foi constatado que a área seria protegida por sistemas de espuma e resfriamento nos tanques das bacias 1 e 2, possuindo: aplicação de espuma no dique de contenção através de canhões monitores, e aplicação de espuma no tanque através de câmaras de espuma, com a bacia 1 possuindo sistema de dilúvio para resfriamento do tanque em chamas e tanques vizinhos.

Sendo assim, de acordo com os resultados obtidos, conclui-se que os objetivos iniciais foram alcançados. E, ainda, de acordo com este trabalho, segue como recomendação a adoção dos elementos de segurança supracitados para obtenção do certificado de conformidade de Plano de Prevenção e Proteção Contra Incêndio (PPCI), pois são de suma importância para a segurança dos usuários e para o patrimônio da edificação.





UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, José Carlos Lorentz e Nirvan Hofstadler Peixoto et al. Manual básico de combate a incêndio: Módulo 1 – Comportamento do fogo. 2ª Edição. DF: Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, 2009.)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10897: Sistema de proteção contra incêndio por chuveiros automáticos – requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12615: Sistema de combate a incêndio por espuma – Espuma de baixa expansão. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13714: Sistema de Hidrante e Mangotinho para Combate a Incêndio. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16704: Conjuntos de bombas estacionárias para sistemas automáticos de proteção contra incêndios - Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17505-1: Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 1: Disposições gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17505-7: Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 7: Proteção contra incêndio para parques de armazenamento com tanques estacionários. Rio de Janeiro, 2015.

AZEVEDO NETTO, J. M. et al. Manual de hidráulica. 8. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1988.

BERTO, A. F. Medidas de Proteção Contra Incêndios: aspectos fundamentais a serem considerados no projeto arquitetônico dos edifícios. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1991.

BERTO, Antônio Fernando. Análise do acidente. Emergência, v.6, n.111, p.16-20, jun., 2018.

BRENTANO, T. A. Proteção contra incêndios no projeto de edificações. Porto Alegre – RS, 2014.



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



BRENTANO, Telmo. Instalações Hidráulicas de Combate a Incêndios nas Edificações – Hidrantes, Mangotinhos e Chuveiros Automáticos (“Sprinklers”). Porto Alegre: Edipucrs, 2004, 450 p.

CARVALHO, Ricardo et al. Manual básico de combate a incêndio: Módulo 1 – Comportamento do fogo. 2ª Edição. DF: Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, 2009.)

Catálogo de Produtos KSB, 2001.

Catálogo de Produtos, Tyco Fire 2018.

Catálogo de Sistemas de Combate a Incêndio da Argus Engenharia, 2012. Disponível em: <<https://www.argus-engenharia.com.br/imagens/catalogos/Argus/argus-produtos-sistemas-contra-incendio.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2021.

CENGEL, Yunus. Transferência de calor e massa: uma abordagem prática. 2ª edição, São Paulo: McGra-Hill, 2009.

Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) Agente extintor & Sistema fixo. GIFEL, 2021. Disponível em: <https://www.gifel.com.br/dioxido-de-carbono/>. Acesso em: 26, out 2021.

FLORES, Bráulio Cançado; ORNELAS, Éliton Ataíde; DIAS, Leônidas Eduardo. Fundamentos de Combate a Incêndio – Manual de Bombeiros. Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás. Goiânia-GO, 1ªed: 2016, 150p.

GOOGLE. Google Earth website. <http://earth.google.com/>. Acesso em: 31 out. 2021

KIDDE [2000-]. Guia de Espuma para Bombeiros e Brigadistas.

NFPA 11, 2021 - Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam.

NFPA 14, 2019 - Standard for the Installation of Standpipe and Hose Systems.

NFPA 15, 2022 - Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection.

NFPA 16, 2019 - Standard for the Installation of Foam-Water Sprinkler and Foam-Water Spray Systems.



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



NFPA 20, 2022 - Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection.

NFPA 22, 2018 - Standard for Water Tanks for Private Fire Protection.

NT-22/2021, Sistema de proteção por Hidrantes e Mangotinhos, Corpo de Bombeiros Militar do Maranhão, 2021.

NT-25/2021, Segurança contra incêndio para líquidos combustíveis e inflamáveis, Corpo de Bombeiros Militar do Maranhão, 2021.

OLIVEIRA, Sergio Agassi de; GILL, Alfonso Antonio; NEGRISOLO, Walter. Aprendendo com os Grandes Incêndios. In: SEITO, A. I. et al. A segurança contra incêndios no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008. 496p.

Protector Fire. Câmara de Espuma Modelo TC, 2015. Disponível em: <<https://www.protectorfire.com.br/produtos/camara-de-espuma-modelo-tc/>>. Acesso em: 21 nov. 2021.

Protector Fire. Canhão monitor fixo Flangeado, 2015. Disponível em: <<https://www.protectorfire.com.br/produtos/canhao-monitor-fixo-flangeado/>>. Acesso em: 04 nov. 2021.

Protector Fire. Canhão monitor portátil 1 entrada, 2015. Disponível em: <<https://www.protectorfire.com.br/produtos/canhao-monitor-portatil-1-entrada/>>. Acesso em: 04 nov. 2021.

Protector Fire. Carreta de espuma Capacidade 130 litros, 2015. Disponível em: <<https://www.protectorfire.com.br/produtos/carreta-de-espuma-capacidade-130-litros/>>. Acesso em: 04 nov. 2021.

Protector Fire. Detalhes do esguicho, 2015. Disponível em: <<http://www.protectorfire.com.br/produtos/esguicho-lancador-de-espuma-vazoes-200-400-ou-800-lmin/>>. Acesso em: 01 nov. 2021.



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



RODRIGUES, E. E. C. Sistema de gestão da segurança contra incêndio e pânico nas edificações - Fundamentação para uma regulamentação nacional. 2016. 336f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

VIANA, Bráulio. Chave de fluxo: características técnicas, aplicação e dicas de instalação. Skop, 2019. Disponível em: <http://www.skop.com.br/2019/10/09/chave-de-fluxo-caracteristicas-tecnicas-aplicacao-e-dicas-de-instalacao/>. Acesso em: 09 out. 2021.

VIANA, Bráulio. Válvula de Governo e Alarme: noções gerais. Skop, 2018. Disponível em: Sucção positiva <http://www.skop.com.br/2018/10/16/valvula-de-governo-e-alar-me-nocoes-gerais/>. Acesso em: 30 out. 2021.

VIANNA, Marcos. Sucção positiva e negativa. Youtube, 13 set. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=X2VugoGTz2A>. Acesso em: 15 nov. 2021.

ZACCARO, Roberto. A Espuma para combate a Incêndios, 2019.