

**ANÁLISE DE RISCOS E TOXICOLÓGICA DAS CONDIÇÕES DO MEIO AMBIENTE DO TRABALHO EM INSTALAÇÕES PORTUÁRIAS (MECÂNICAS, QUÍMICAS E DE SEGURANÇA): Estudo de caso no município de Santos, Brasil.**

**RISK AND TOXICOLOGICAL ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF WORK IN PORT FACILITIES (MECHANICAL, CHEMICAL AND SAFETY): Case study in Santos City, Brazil.**

Fernando Souza de Almeida<sup>1</sup>

Aureo Emanuel Pasqualetto Figueiredo<sup>2</sup>

Deovaldo de Moraes Júnior<sup>3</sup>

**Resumo:** Analisou-se no presente trabalho incêndio de grandes proporções ocorrido em abril de 2015, em terminal de armazenamento de granéis líquidos situado no Porto de Santos, Estado de São Paulo, Brasil. O objetivo visa propor a aplicação de ferramentas para engenharia e gestão na redução de acidentes para avaliação das condições do meio ambiente do trabalho em instalações portuárias (mecânicas, químicas e segurança). Empregou-se a metodologia FMEA - Análise de Modos e Efeitos de Falhas na área onde estavam as bombas que explodiram na Central de Transferência IV. Analisaram-se os indicadores de toxicidade do monóxido e dióxido de carbono emitidos na atmosfera, gerados pela queima dos tanques de combustíveis estocados na CETRAN IV. Tipos de riscos na situação I (59,10% intolerável e 40,9% tolerável) e na situação II (55,55% intolerável, 33,33% tolerável e 11,12% aceitável). Emissão total de 43.851,70 toneladas de CO<sub>2</sub> e 1.468,71 toneladas de CO na atmosfera. Foram observadas condições de insalubridade e periculosidade apresentados no meio ambiente de trabalho da CETRAN IV, pela análise de riscos e concentração de material particulado disperso na atmosfera, superior ao limite máximo de exposição aceito no Brasil: 9.000 mg/m<sup>3</sup> de CO<sub>2</sub> e 55 mg/m<sup>3</sup> de CO.

**Palavras-chave:** Análise de riscos. Incêndio. Meio ambiente do trabalho. Porto de Santos. Terminal de granéis líquidos.

**Abstract:** It was analyzed in present study, major fire occurred in April 2015, at terminal for storage of bulk liquids located in Santos Port, São Paulo State, Brazil. It

<sup>1</sup> Prefeitura Municipal de Santos Estância Balneária, Santos-SP, Brasil

<sup>2</sup> Prefeitura Municipal de Santos Estância Balneária, Santos-SP, Brasil

<sup>3</sup> Universidade Santa Cecília – UNISANTA, Santos-SP, Brasil E-mail:

[peritoengenheiro.fernando7@gmail.com](mailto:peritoengenheiro.fernando7@gmail.com) / [quimecara@hotmail.com](mailto:quimecara@hotmail.com)

propose the application of tools for engineering and management in the reduction of accidents for assessment of environmental conditions of work in port facilities (mechanical, chemical and safety properties). The methodology employed FMEA - Analysis of Modes and Effects of Failures in area where they're installed the pumps which exploded in Central Transfer IV. Risk types in situation I (59.10% intolerable and 40.9% of tolerability) and situation II (55.55%, 33.33% intolerable, tolerability and 11.12% of acceptable). Total emission of 43,851.70 tons of CO<sub>2</sub> and 1,468.71 tons of CO into the atmosphere. Unsanitary conditions were observed and dangerousness in environment of work the CETRAN IV, for risk analysis presented by the concentration of particulate material present in the atmosphere, higher values for maximum exposure limits accepted in Brazil: 9.000 mg/m<sup>3</sup> carbon dioxide and 55 mg/m<sup>3</sup> for carbon monoxide.

**Key-words:** risk analysis. fire. work environment; Santos Port; liquid bulk terminal.

## 1 Introdução

Os acidentes acontecem dentre outras causas, pela ação do homem: pela manipulação indevida de substâncias químicas ou não cumprimento de procedimentos pré-estabelecidos de segurança (GOMES, 2013).

Inúmeros incidentes ocorreram nos terminais localizados na área do Porto de Santos, refletindo diretamente no desenvolvimento da cadeia produtiva do segmento, apresentando risco a população dos municípios da Baixada Santista.

Em 02 de abril de 2015, ocorreu incidente de grandes proporções na área portuária situada no bairro da Alemoa, Santos (SP). Um incêndio começou por volta de 10 horas, período matutino, numa sequência de explosões ocorridas nos tanques de combustível no Terminal Químico de Aratu – TEQUIMAR (SANTOS et al., 2016).

Neste local, com área aproximada de 184.000 m<sup>2</sup>, destinada ao recebimento, estocagem e movimentação de produtos líquidos à granel, inflamáveis e não inflamáveis, mediante operações de carregamento e descarregamento de navios e caminhões tanques.

O complexo encontra-se subdividido em dois setores: o Terminal Intermodal de Santos - I (local do incêndio) e o Terminal Intermodal de Santos – II (MPSP GAEMA/BS, 2015). O terminal apresenta três berços de atracação, cento e setenta e nove tanques para estocagem de óleos vegetais, produtos químicos e combustíveis (álcool, gasolina, óleos e lubrificantes). A capacidade nominal de armazenamento é de 338.300 m<sup>3</sup> de granéis líquidos (ULTRACARGO, 2015).

Dos 13 tanques instalados no perímetro do TIS I, 08 deles apresentaram alguma perda no volume de combustível estocado. Estavam identificados como 2628, 2631, 2633, 2643, 2645, 2646, 2647 e 2648. Destes, 05 estocavam Gasolina A, 02 estocavam Álcool Anidro ANP e 01 estocava Óleo Diesel S10 (SANTOS et al, 2016).

O atendimento perdurou por pelo menos mais de 197 horas, considerado este evento o maior incidente ocorrido em área industrial na América Latina; e o segundo maior do gênero no mundo, com o envolvimento de pelo menos 118 pessoas no combate ao incêndio (A TRIBUNA ONLINE, 2017).

Assim sendo, este estudo tem por objetivo propor a aplicação de ferramentas de engenharia e gestão na redução de acidentes por meio de avaliação das condições do meio ambiente do trabalho em instalações portuárias (mecânicas, químicas e segurança), na busca pela prevenção de acidentes na Região Metropolitana da Baixada Santista, por intermédio de estudo de caso ocorrido no Porto de Santos em 2015.

## **2 Métodos**

Este estudo aliou-se à vertente dos estudos operários italianos que asseguram a importância da produção de conhecimento em segurança ocupacional e condições apresentadas no meio ambiente do trabalho (ODDONE et al., 1986).

O desenvolvimento deste trabalho ocorreu a partir de consulta de documentos oficiais de domínio público, como o Inquérito Civil – IC Nº 14.0703.0000028/2015-1, sob responsabilidade do Ministério Público do Estado de São Paulo - Grupo de

Atuação Especial de Defesa do Meio Ambiente / Núcleo Baixada Santista. “Danos Ambientais decorrentes de incêndio em tanques de armazenagem na empresa Ultracargo, em Santos” ((MPSP GAEMA/BS, 2015); o Laudo Técnico 1815-16 MPSP/CAEX (MPSP GAEMA/BS, 2015) e o RELATÓRIO FINAL do GT-CREA/SP: Estudo de Implementação das Recomendações da "CARTA DE SANTOS – 2015” (CREA/SP, 2016).

Neste estudo de caso, analisaram-se as condições de meio ambiente do trabalho apresentadas na Central de Transferência IV, área de estocagem dos tanques de combustíveis tomados pelo incêndio e a iminente combustão, gerando monóxido e dióxido de carbono emitidos na atmosfera. Os 2 itens estudados foram:

- I) Análise dos tipos de riscos apresentados na área onde ocorreu o incêndio em 2 situações operacionais, com o emprego da metodologia FMEA – Análise de Modos e Efeitos de Falhas;
- II) Análise toxicológica do incêndio para quantificar o volume de dióxido e monóxido de carbono emitidos na atmosfera, resultantes da queima dos combustíveis estocados nos tanques afetados pelo incêndio.

Quanto ao item I, dentro da estratégia de aumento na confiabilidade, a adoção de medidas preventivas tornou-se indispensável, sendo que a utilização do método FMEA – Análise de Modos e Efeitos de Falhas foi considerada a mais adequada, dada característica de adotar ações preventivas baseadas e prioridades (NOGUEIRA et al., 1999).

A FMEA trata-se de método para análise, com utilização na definição e identificação dos possíveis modos potenciais de falha e identificação das causas de cada modo de falha e os efeitos sobre o desempenho do sistema. O método permite organizar e classificar os riscos de forma a identificar a relevância de cada um e identificar as soluções mais eficientes em termos de custos, a fim de prevenir potenciais problemas (PARDO, 2009).

O índice de ocorrência está relacionado com a frequência em que apareceram as causas da falha (PARDO, 2009). As classes e índices de ocorrências apresentam as seguintes variações:

- **Classe A (valor: 01-02)** - nível improvável;
- **Classe B (valor: 03-04)** - nível remoto;
- **Classe C (valor: 05-06)** - nível ocasional;
- **Classe D (valor: 07-08)** - nível provável; e
- **Classe E (valor: 09-10)** - nível frequente.

O índice de severidade é definido como impacto das consequências sobre o desempenho do sistema. A descrição deve ser clara, objetiva e bem definida, com o intuito de não criar polêmica no uso dos critérios (PARDO, 2009). As classes e índices de severidade apresentam as seguintes variações:

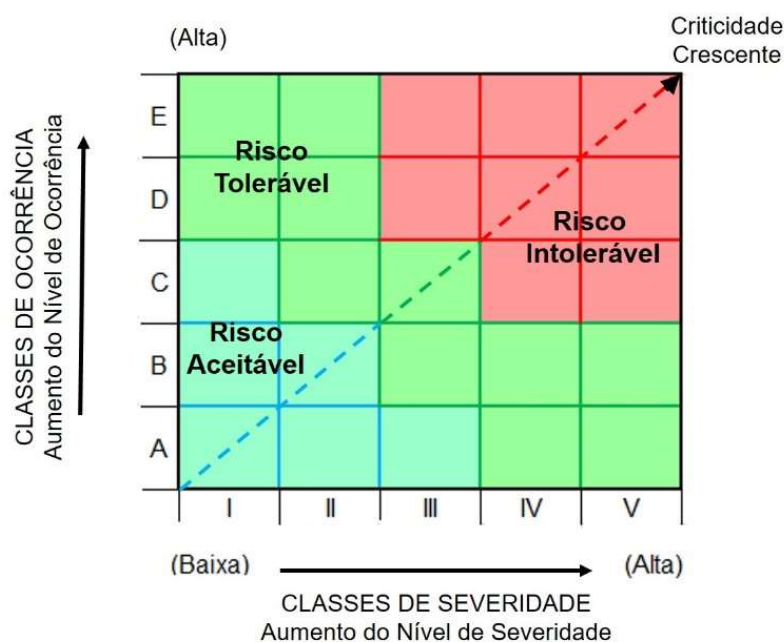
- **Classe I (valor: 01-02)** - nível mínimo;
- **Classe II (valor: 03-04)** - nível baixo;
- **Classe III (valor: 05-06)** - nível moderado;
- **Classe IV (valor: 07-09)** - nível grande/extremo/crítico; e
- **Classe V (valor: 10)** - nível catastrófico.

O índice de probabilidade de detecção é a estimativa da habilidade do controle e monitoramento da estrutura para detectar os modos potenciais de falha antes do evento ocorrer, considerando a influência indireta que o controle e o monitoramento desempenham na probabilidade de ocorrência dos eventos e/ou na severidade das consequências (PARDO, 2009). As classes e índices de detecção apresentam as seguintes variações de risco:

- **Classe I (valor: 01-02)** - muito alto;
- **Classe II (valor: 03-04)** - alto médio;
- **Classe III (valor: 05-06)** - médio;
- **Classe IV (valor: 07-09)** - baixo; e
- **Classe V (valor: 10)** - muito baixo.

Na matriz de criticidade, as linhas estão associadas às classes de ocorrência e as colunas às classes de severidade e, desta forma, os índices da matriz são obtidos por meio da relação entre o índice de severidade e o índice de ocorrência (SANTOS, 2007). Tal fato dificulta a hierarquização dos riscos, tornando-se necessário criar faixas de criticidade e tolerabilidade no interior da matriz.

A Figura 1 apresenta representação gráfica da matriz de criticidade, modos de ruptura de alta ocorrência e baixa severidade e modos de ruptura de baixa ocorrência e alta severidade equidistantes da linha de criticidade:



**Figura 1** - Faixas de criticidade e tolerabilidade – Matriz de criticidade.

Fonte: Adaptado de SANTOS, (2007).

A situação I apresenta os 22 tipos de riscos nela identificados: 1) Risco de queda de materiais soltos; 2) Choques contra materiais ou peças sem fixação ou fixados, porém obstruindo a passagem; 3) Queda de pessoas em piso escorregadio, tropeço, espaço vazio ou em desnível; 4) Queda de material solto na estrutura ou de ferramental; 5) Queda ou tropeço de pessoas em piso escorregadio; 6) Pessoas atingidas por queda de materiais soltos; 7) Queda de materiais ou ferramentas; 8) Utilização de ferramenta inadequada; 9) Contaminação com produtos insalubres e/ou perigosos; 10) Contato com equipamento e/ou superfície energizada (choque elétrico); 11) Incêndio por geração de centelha; 12) Incêndio provocado por ambiente com eletricidade estática, utilização de ferramental inadequado, presença de fonte de ignição ou vazamento de produtos; 13) Contato com equipamento e/ou superfície energizada (choque elétrico); 14) Prensamento de membros por uso de ferramenta inadequada ou corte de parafuso a frio; 15) Liberação de substância perigosa (inflamável, tóxica) por emanação, gotejamento e/ou conexões da tubulação; 16)

Atingido por deslocamento do scool durante a desconexão; 17) Exposição das pessoas em piso escorregadio, tropeço, espaço vazio ou desnível; 18) Incêndio provocado por uso de ferramenta inadequada; 19) Tombamento da máquina de carga; 20) Queda da carga por cinta ou lingamento inadequados; 21) Bater contra falta de corda guia; e 22) Atingido por balanço da carga (MPSP GAEMA/BS, 2015).

E a situação II apresenta os 18 tipos de riscos nela identificados: 1) Atingido por queda de materiais soltos; 2) Bater contra materiais / peças com ou sem fixação, com obstrução de passagem; 3) Queda de pessoas em piso escorregadio, tropeço, espaço vazio ou em desnível; 4) Queda de material solto na estrutura ou de ferramental; 5) Prensamento e/ou esmagamento de membros, por meio da queda de materiais (tubos, vigas, forçado, base ajustável, ferramentas, prancha de madeira, abraçadeira); 6) Presença inadvertida de pessoas no local da movimentação e/ou arremesso de material; 7) Queda de materiais por escapar das mãos, tropeço ou piso escorregadio; 8) Queda de pessoas em níveis iguais e/ou diferentes, seja por piso escorregadio, tropeço, espaço vazio ou em desnível; 9) Perfuração de membros e contato com cantos vivos e/ou objetos pontiagudos; 10) Prensamento de membro por queda de materiais (tubos, vigas, forçado, base ajustável, ferramentas, prancha de madeira, abraçadeira); 11) Presença inadvertida de pessoas no local, nos instantes de movimentação e/ou arremesso de material; 12) Queda de materiais por escapar das mãos, piso escorregadio, tropeço e/ou deslocamento da estrutura; 13) Queda de pessoas em nível igual e/ou diferente, por piso escorregadio, tropeço, espaço vazio ou desnível, ou trabalho de montagem da estrutura de escoramento; 14) Contato com cantos vivos, objetos pontiagudos; 15) Presença inadvertida de pessoas na movimentação, queda ou arremesso de material no meio ambiente do trabalho; 16) Liberação de substâncias perigosas (inflamáveis, tóxicas, corrosivas e outras), por meio da emanação, gotejamento, conexões, válvulas ou tubulações; 17) Contato com superfície ou equipamento energizado (choque elétrico); e 18) Ruídos por impacto entre ferramentas/equipamentos/tubos (MPSP GAEMA/BS, 2015).



Para o atendimento do item II, os cálculos para obtenção dos indicadores de toxicidade do monóxido e dióxido de carbono, resultantes da queima dos combustíveis estocados na CETRAN IV; foram desenvolvidos tendo como referencial teórico, o exemplo 2.6 - “Combustão completa. Heptano”, do livro “Laboratório de Operações Unitárias II”, de MORAES Jr. Et al., (2012).

### **3 Resultados e Discussão**

#### **3.1 Análise dos riscos existentes na CETRAN IV, com aplicação da metodologia FMEA (Failure Mode and Effect Analysis).**

O entendimento dos fenômenos de propagação de chama é indispensável para realizar a análise consequente de explosões acidentais (DOBASHI, 2012). A existência de alguns problemas ocultos não é estática, mas em contínuos processos de mudança, que também requisitos mais altos para supervisão, inspeção e gerenciamento de incêndio (DOBASHI et al., 2010; DORON C-O, 2016; HOPKINS et al., 2017; XUE et al., 2012).

A análise de risco deve preceder o trabalho e contemplar todas as etapas, elementos e sequências de operações que compõem uma determinada atividade a ser realizada pelo trabalhador (HAYASHIDE et al., 2017). Isso deve ser feito para identificar riscos potenciais de acidentes físicos e materiais, identificação e correção dos problemas operacionais e implementação da maneira correta para execução de cada etapa de trabalho com segurança (HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, 2003).

Independente da ocorrência do incidente abordado neste estudo de caso, Central de Transferência IV deveria contemplar a seguinte configuração: três bombas centrífugas horizontais, identificadas como 2642, 2643 e 2644; e duas bombas de exportação, identificadas como 2677 e 2678 (SCABBIA et al., 2003).

As avaliações comparativas de segurança são amplamente aplicadas na engenharia de segurança contra incêndio e podem ser uma ferramenta muito valiosa em circunstâncias bem definidas (LUNDIN et al., 2005; HANSEN et al., 2018).

No estudo de caso em questão, foram realizadas análises de riscos em 2 situações ocorridas após o incidente na empresa:

- I. Retirada das bombas B-2642, B-2644 e B-2678 instaladas na Central de Transferência IV, com a utilização de caminhão munck;
- II. Montagem de estrutura para escoramento na Central de Transferência IV, com a utilização de material tubular e abraçadeiras na retirada das bombas B-2642, B-2644 e B-2678.

As análises de ambos os casos ocorreram por intermédio de consulta à documentação oficial emitida pela empresa Ultracargo, anexada ao Volume 17 do Inquérito Civil de numeração 14.0703.0000028/2015-1, processo de consulta pública sob responsabilidade do Ministério Público do Estado de São Paulo - Grupo de Atuação Especial de Defesa do Meio Ambiente / Núcleo Baixada Santista. Após realização de consulta aos autos supracitados, o autor apresentou as informações mais relevantes das Análises de Riscos realizadas nas situações I e II:

### **3.2 Situação I: Retirada das bombas B-2642, B-2644 e B-2678 instaladas na Central de Transferência IV, com a utilização de caminhão munck.**

A situação I compreendeu na retirada das bombas B-2642, B-2644 e B-2678, ocorrida no dia 03 de dezembro de 2015 na Central de Transferência IV, com auxílio de caminhão munck. O autor atribuiu valores aos índices de ocorrência, severidade e detecção nos 22 critérios observados na situação I. O Quadro 1 correlaciona os critérios supracitados com a identificação do tipo e cor de risco (vermelha, verde ou azul):

**Quadro 1** - Identificação do tipo e cor de risco, de acordo com índices de frequência, severidade e de risco apresentados na situação I.

<b>Situação I: Retirada das bombas B-2642, B-2644 e B-2678 instaladas na Central de Transferência IV, com a utilização de caminhão munck.</b>					
<b>Cenário</b>	<b>Índice de</b>	<b>Índice de</b>	<b>Índice de</b>	<b>Tipo de Risco</b>	<b>Cor do Risco</b>

	Ocorrência	Severidade	Detecção		
1	E	IV	3	Intolerável	Vermelha
2	D	II	8	Tolerável	Verde
3	D	III	6	Intolerável	Vermelha
4	E	III	4	Intolerável	Vermelha
5	C	III	8	Tolerável	Verde
6	E	IV	3	Intolerável	Vermelha
7	D	III	6	Intolerável	Vermelha
8	E	III	4	Intolerável	Vermelha
9	C	II	9	Tolerável	Verde
10	C	IV	6	Intolerável	Vermelha
11	C	III	8	Tolerável	Verde
12	E	III	3	Intolerável	Vermelha
13	C	IV	6	Intolerável	Vermelha
14	E	III	3	Intolerável	Vermelha

**Quadro 1** - Identificação do tipo e cor de risco, de acordo com índices de frequência, severidade e de risco apresentados na situação I (continuação).

<b>Situação I: Retirada das bombas B-2642, B-2644 e B-2678 instaladas na Central de Transferência IV, com a utilização de caminhão munck.</b>					
Cenário	Índice de Ocorrência	Índice de Severidade	Índice de Detecção	Tipo de Risco	Cor do Risco
15	D	III	6	Intolerável	Vermelha
16	E	II	6	Tolerável	Verde
17	E	III	4	Intolerável	Vermelha
18	C	III	9	Tolerável	Verde
19	D	III	6	Intolerável	Vermelha
20	C	III	8	Tolerável	Verde
21	B	III	8	Tolerável	Verde
22	B	III	8	Tolerável	Verde

Após exposição das informações no Quadro 1, o autor conclui o seguinte panorama da situação I: 59,10% de risco intolerável; 40,9% de risco tolerável e 0,0%

de risco aceitável. Os dados representam elevadas condições de insalubridade e periculosidade no meio ambiente de trabalho da Central de Transferência IV após o incêndio, no momento de retirada das bombas B-2642, B-2644 e B-2678.

### 3.3 Situação II: Montagem de estrutura para escoramento na Central de Transferência IV, com a utilização de material tubular e abraçadeiras na retirada das bombas B-2642, B-2644 e B-2678.

A situação II compreendeu a montagem de escoramento para utilização de material tubular e abraçadeiras na Central de Transferência IV, para retirada da retirada das bombas B-2642, B-2644 e B-2678 no dia 02 de dezembro de 2015. O autor atribuiu valores aos índices de ocorrência, severidade e detecção nos 18 critérios observados na situação II. O Quadro 2 correlaciona os critérios supracitados com a identificação do tipo e cor de risco (vermelha, verde ou azul):

**Quadro 2** - Identificação do tipo e cor de risco, de acordo com índices de frequência, severidade e de risco apresentados na situação II.

<b>Situação II: Montagem de estrutura para escoramento na Central de Transferência IV, com a utilização de material tubular e abraçadeiras para retirada das bombas B-2642, B-2644 e B-2678.</b>					
<b>Cenário</b>	<b>Índice de Ocorrência</b>	<b>Índice de Severidade</b>	<b>Índice de Detecção</b>	<b>Tipo de Risco</b>	<b>Cor do Risco</b>
1	E	IV	4	Intolerável	Vermelha
2	E	III	4	Intolerável	Vermelha
3	D	II	8	Tolerável	Verde
4	E	III	4	Intolerável	Vermelha
5	E	III	3	Intolerável	Vermelha
6	B	II	9	Aceitável	Azul
7	B	III	6	Tolerável	Verde
8	B	III	8	Tolerável	Verde
9	D	II	7	Tolerável	Verde
10	E	II	5	Tolerável	Verde

11	E	III	4	Intolerável	Vermelha
12	D	IV	5	Intolerável	Vermelha
13	D	IV	4	Intolerável	Vermelha
14	D	II	7	Tolerável	Verde
15	D	III	6	Intolerável	Vermelha
16	B	II	7	Aceitável	Azul
17	C	IV	5	Intolerável	Vermelha
18	E	III	3	Intolerável	Vermelha

Após apresentação das informações no Quadro 2, o autor conclui o seguinte panorama da situação II: 55,55% de risco intolerável; 33,33% de risco tolerável e 11,12% de risco aceitável. Os dados representam elevadas condições de insalubridade e periculosidade no meio ambiente de trabalho da Central de Transferência IV após o incêndio, no momento de retirada das bombas B-2642, B-2644 e B-2678 com a utilização de material tubular e abraçadeiras.

### 3.4 Análise Toxicológica dos Gases Emitidos na Atmosfera.

Os cálculos para o dimensionamento dos volumes e densidades do dióxido e monóxido de carbono e água gerados pela queima dos combustíveis estocados nos 8 tanques afetados pelo incêndio na Central de Transferência IV, foram desenvolvidos da seguinte forma:

### 3.5 Volumes dos Tanques Queimados:

#### A) TANQUE 2628:

**Dados:**

Volume queimado ( $V_G$ ): 244 m<sup>3</sup>

Densidade Gasolina A ( $d_G$ ): 0,74 kg / litro = 740 kg / m<sup>3</sup>

$$244 \text{ m}^3 \cdot 740 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 180.560 \text{ kg} \quad (01)$$

$$180.560 \text{ kg} \cdot \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} = 180.560.000,00 \text{ g} \quad (02)$$

### I) Cálculo das Massas:

a) Cálculo da massa total de  $\text{CO}_2$  ( $m_{TOTAL \text{CO}_2}$ ) do volume queimado no Tanque 2628:

$$m_{TOTAL \text{CO}_2} = \frac{m_{TANQUE 2628} \cdot m_{\text{CO}_2}}{m_{\text{C}_8\text{H}_{18}}} \Rightarrow \frac{180.560.000,00 \text{ g} \cdot 334,4 \text{ g}}{114 \text{ g}} = 529.642.666,67 \text{ g} \quad (03)$$

$$m_{TOTAL \text{CO}_2} = 529.642.666,67 \text{ g} \cdot \frac{1 \text{ t}}{1.000.000 \text{ g}} = 529,64 \text{ toneladas} \quad (04)$$

b) Cálculo da massa total de CO ( $m_{TOTAL \text{CO}}$ ) do volume queimado no Tanque 2628:

$$m_{TOTAL \text{CO}} = \frac{m_{TANQUE 2628} \cdot m_{\text{CO}}}{m_{\text{C}_8\text{H}_{18}}} \Rightarrow \frac{180.560.000,00 \text{ g} \cdot 11,2 \text{ g}}{114 \text{ g}} = 17.739.228,07 \text{ g} \quad (05)$$

$$m_{TOTAL \text{CO}} = 17.739.228,07 \text{ g} \cdot \frac{1 \text{ t}}{1.000.000 \text{ g}} = 17,74 \text{ toneladas} \quad (06)$$

c) Cálculo da massa total de  $\text{H}_2\text{O}$  ( $m_{TOTAL \text{H}_2\text{O}}$ ) do volume queimado no Tanque 2628:

$$m_{TOTAL \text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{TANQUE 2628} \cdot m_{\text{H}_2\text{O}}}{m_{\text{C}_8\text{H}_{18}}} \Rightarrow \frac{180.560.000,00 \text{ g} \cdot 162 \text{ g}}{114 \text{ g}} = 256.585.263,16 \text{ g} \quad (07)$$

$$m_{TOTAL H_2O} = 256.585.263,16 g \cdot \frac{1 t}{1.000.000 g} = 256,59 \text{ toneladas} \quad (08)$$

Portanto, a massa total ( $m_{TOTAL}$ ) do volume queimado no Tanque 2628:

$$m_{TOTAL} = m_{TOTAL CO_2} + m_{TOTAL CO} + m_{TOTAL H_2O} \quad (09)$$

$$m_{TOTAL} = 529,64 t + 17,74 t + 256,59 t \Rightarrow 803,97 \text{ toneladas} \quad (10)$$

$$m_{TOTAL (g)} = 803,97 \text{ toneladas} \cdot \frac{1.000.000 g}{1 \text{ tonelada}} = 803.970.000,00 g \quad (11)$$

Portanto, a massa total ( $m_{TOTAL}$ ) do volume queimado no Tanque 2628:

$$m_{TOTAL} = m_{TOTAL CO_2} + m_{TOTAL CO} + m_{TOTAL H_2O} \quad (12)$$

$$m_{TOTAL} = 529,64 t + 17,74 t + 256,59 t \Rightarrow 803,97 \text{ toneladas} \quad (13)$$

$$m_{TOTAL (g)} = 803,97 \text{ toneladas} \cdot \frac{1.000.000 g}{1 \text{ tonelada}} = 803.970.000,00 g \quad (14)$$

## II) Cálculo das Densidades:

a) Cálculo da densidade máxima total de  $CO_2$  ( $d_{TOTAL CO_2}$ ) no Tanque 2628:

$$x_{2628} = \frac{m_{TOTAL CO_2} \cdot 100\%}{m_{TOTAL (g)}} \Rightarrow \frac{529.642.666,67 g \cdot 100\%}{803.970.000,00 g} = 65,88 \% \quad (15)$$

$$d_{TOTAL CO_2} = \frac{\frac{m_{TOTAL CO_2} \cdot 1000 mg}{1 g}}{\frac{x_{2628}}{100\%} \cdot V_{GT2628}} = \frac{\frac{529.642.666,67 g \cdot 1000 mg}{1 g}}{\frac{65,88 \%}{100\%} \cdot 244 m^3} \Rightarrow$$

$$d_{TOTAL CO_2} = \frac{\frac{529.642.666,67 g \cdot 1000 mg}{1 g}}{0,6588 \cdot 244 m^3} = 3.294.879.579,05 \frac{mg}{m^3} \quad (16)$$

b) Cálculo da densidade máxima total de CO ( $d_{TOTAL CO}$ ) no Tanque 2628:

$$y_{2628} = \frac{m_{TOTAL\ CO} \cdot 100\%}{m_{TOTAL}} \Rightarrow \frac{17.739.228,07\ g \cdot 100\%}{803.970.000,00\ g} = 2,21\ \% \quad (17)$$

$$d_{TOTAL\ CO} = \frac{\frac{m_{TOTAL\ CO} \cdot 1000\ mg}{1\ g}}{\frac{y_{2628}}{100\%} \cdot V_{GT2628}} = \frac{\frac{17.739.228,07\ g \cdot 1000\ mg}{1\ g}}{\frac{2,21\ \%}{100\%} \cdot 244\ m^3} \Rightarrow$$

$$d_{TOTAL\ CO} = \frac{\frac{17.739.228,07\ g \cdot 1000\ mg}{1\ g}}{0,0221 \cdot 244\ m^3} = 3.289.672.144,13\ \frac{mg}{m^3} \quad (18)$$

Da mesma forma, também houve o dimensionamento dos tanques numerados como 2631, 2633, 2643, 2645, 2646, 2647 e 2648. Assim como os valores calculados das densidades máximas totais de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e monóxido de carbono (CO) gerados pela queima dos tanques de combustível afetados pelo incêndio na CETRAN IV (em mg/m<sup>3</sup>).

### 3.6 Volume do Dióxido de Carbono - CO<sub>2</sub>:

A Tabela 1 apresenta os volumes estimados de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) gerados pela queima dos combustíveis estocados nos tanques afetados pelo incêndio em questão, assim como os valores calculados de massa total (em toneladas), densidade máxima (em mg/m<sup>3</sup>), grau máximo de exposição do referido gás, permitido no Brasil (em mg/m<sup>3</sup>) e sua relação com a densidade estimada, de acordo com o tipo de combustível (valor adimensional):

**Tabela 1** - Estimativas do volume de CO<sub>2</sub> gerado pela queima dos combustíveis estocados nos tanques afetados pelo incêndio, pela massa total, densidade máxima, grau de exposição no Brasil e sua relação com a densidade estimada.

Número do Tanque	Tipo de Combustível	Massa Total de CO <sub>2</sub> (em toneladas)	Densidade máxima do CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	Grau de Exposição do CO <sub>2</sub> no Brasil (mg/m <sup>3</sup> )	Relação entre o grau de exposição de CO <sub>2</sub> e a densidade por tipo de combustível



2628	Gasolina A	529,64	3.294.879.579	9.000	366.097
2631		6.904,89			
2643		1.356,67			
2646		5.229,13			
2648		12.435,75			
2645	Álcool Anidro ANP	8.548,80	2.415.964.422		268.440
2647		8.557,43			
2633	Óleo Diesel S10	289,39	3.680.715.691		408.968

Conforme apresentado na Tabela 1, o volume de dióxido de carbono formado pela queima de Gasolina A, estocada nos tanques 2628, 2631, 2643, 2646 e 2648; corresponde a 65,88% da massa total gerada após a combustão. O volume constituído pela queima do Álcool Anidro ANP presente nos tanques 2645 e 2647, corresponde a 59,54% da massa total gerada. E o volume formado pela queima de Óleo Diesel S10 confinado no tanque 2633 corresponde a 67,20% da massa total gerada após sua combustão.

No Brasil, o Limite de Exposição ao dióxido de carbono permitido é de 9.000 mg/m<sup>3</sup>, gerado pela queima de Gasolina A, Álcool Anidro A e Óleo Diesel S10. Concentrações de 10% (100.000 ppm) podem produzir inconsciência e morte por deficiência de oxigênio. Uma concentração de 5% provoca falta de ar e dor de cabeça. A exposição contínua a 1,5% de CO<sub>2</sub> pode causar alterações fisiológicas. A concentração de dióxido de carbono no sangue afeta a taxa de respiração<sup>22</sup>.

A densidade máxima gerada pela queima da Gasolina A estocada nos tanques 2628, 2631, 2643, 2646 e 2648, corresponde a 3.294.879.579 mg/m<sup>3</sup>; ou cerca de 366 mil vezes o limite apresentado. Já na queima de Álcool Anidro A estocado nos tanques 2645 e 2647, a densidade equivale a 2.415.964.422 mg/m<sup>3</sup>; corresponde a 268 mil

vezes o limite apresentado. E na queima de Óleo Diesel S10 estocado no tanque 2633, a densidade vale 3.680.715.691 mg/m<sup>3</sup>; ou cerca de 409 mil vezes o limite estabelecido no Brasil.

### Volume do Monóxido de Carbono – CO:

A Tabela 2 apresenta os volumes estimados de monóxido de carbono (CO) gerados pela queima dos combustíveis estocados nos tanques afetados pelo incêndio em questão, bem como os valores calculados de massa total (em toneladas), densidade máxima (em mg/m<sup>3</sup>), grau máximo de exposição do referido gás, permitido no Brasil (em mg/m<sup>3</sup>) e sua relação com a densidade estimada, de acordo com o tipo de combustível (valor adimensional):

**Tabela 2** - Estimativas do volume de CO gerado pela queima dos combustíveis estocados nos tanques afetados pelo incêndio, pela massa total, densidade máxima, grau de exposição no Brasil e sua relação com a densidade estimada.

Número do Tanque	Tipo de Combustível	Massa Total de CO (em toneladas)	Densidade máxima total do CO (mg/m <sup>3</sup> )	Limite de Exposição do CO no Brasil (mg/m <sup>3</sup> )	Relação entre o grau de exposição de CO e a densidade por tipo de combustível
2628	Gasolina A	17,74	3.289.672.144	55	59.812.220
2631		231,26			
2643		45,44			
2646		175,14			
2648		416,51			
2645	Álcool Anidro ANP	286,32	2.421.018.134		44.018.511
2647		286,61			

2633	Óleo Diesel S10	9,69	3.681.889.762		66.943.450
------	-----------------	------	---------------	--	------------

Conforme apresentado na Tabela 2, o volume de monóxido de carbono formado pela queima de Gasolina A estocada nos tanques 2628, 2631, 2643, 2646 e 2648; corresponde a 2,21% da massa total gerada após sua combustão. Já o volume constituído pela queima do Álcool Anidro ANP presente nos tanques 2645 e 2647 corresponde a 1,99% da massa total gerada após sua combustão. O volume formado pela queima de Óleo Diesel S10 confinado no tanque 2633 corresponde a 2,25% da massa total gerada após sua combustão.

No Brasil, o Limite de Exposição ao monóxido de carbono permitido é 55 mg/m<sup>3</sup>, gerado pela queima de Gasolina A, Álcool Anidro A e Óleo Diesel S10. O padrão recomendado pelo NIOSH em 35 ppm com um valor de teto em 200 ppm, que limita formação de carboxihemoglobina em um não fumante envolvido em atividade sedentária no estado normal (M KEY et al., 1977).

A densidade máxima de CO<sub>2</sub> gerado pela queima da Gasolina A estocada nos tanques 2628, 2631, 2643, 2646 e 2648, corresponde a 3.289.672.144 mg/m<sup>3</sup>; ou aproximadamente 59.812.220 vezes o limite apresentado. Já na queima de Álcool Anidro A estocado nos tanques 2645 e 2647, a densidade máxima de CO<sub>2</sub> gerado pela queima equivale a 2.421.018.134 mg/m<sup>3</sup>; correspondendo a aproximadamente 44.018.511 vezes o limite apresentado. E a densidade máxima de CO<sub>2</sub> gerado pela queima de Óleo Diesel S10 estocado no tanque 2633, corresponde a 3.681.889.762 mg/m<sup>3</sup>; ou aproximadamente 66.943.450 vezes o limite estabelecido no Brasil.

#### **4 Considerações Finais**

O primeiro tópico do presente trabalho analisou os seguintes panoramas da situação I: 59,10% de risco intolerável e 40,9% de tolerabilidade; e da situação II: 55,55% de risco intolerável, 33,33% de tolerabilidade e 11,12% de risco aceitável. Isso

posto, observaram-se elevadas condições de insalubridade e periculosidade no meio ambiente de trabalho, encontrados na Central de Transferência IV.

O segundo tópico apresentou a partir de cálculos do volume de combustível queimado nos tanques afetados pelo incêndio, que foram emitidos na atmosfera durante o período de incêndio ocorrido em abril de 2015, o total de 43.851,70 toneladas de dióxido de carbono e 1.468,71 toneladas de monóxido de carbono.

Concluindo, foram observadas condições de insalubridade e periculosidade no meio ambiente de trabalho da CETRAN IV, devido à análise dos riscos existentes e pela concentração de material particulado originário da queima de combustíveis estocados nos tanques afetados pelo incêndio. Com vistas à análise toxicológica dos gases emitidos na atmosfera, o perímetro do local onde ocorreu o incêndio no Porto de Santos elucidava condições totalmente inadequadas de trabalho, na circulação e/ou concentração de pessoas, principalmente para a população itinerante diária na região designada como “Entrada de Santos”.

## Referências

A TRIBUNA ONLINE. **Fogo já é o segundo maior da história mundial.** Disponível em: <<http://www.tribuna.com.br/noticias/noticias-detalle/cidades/fogo-ja-e-o-segundo-maior-da-historia-mundial/?cHash=98bf011fff5c13a8467d26b2a3116f5c>>. Acesso em 06 de novembro de 2017.

BAKSHI N., GANS N. 2010. **Securing the containerized supply chain: analysis of government incentives for private investment.** Manage. Sci. 56, p. 219–233.

CREA/SP. **Estudo de Implementação das Recomendações da “CARTA DE SANTOS - 2015” – Relatório Final.** São Paulo, 2016.

DOBASHI R. **Studies on accidental gas and dust explosions.** Fire Safety Journal, 91 (2017), pp 21-27.

DORON C-O. **A experiência do 'risco': genealogia e transformações.** A. Burgess, A. Alemanno, JO Zinn (Eds.), Routledge. Manual de Estudos de Risco, Routledge, Nova York (2016).

GOMES L.A.C., SANTOS H.A.P. **Prevenção de acidentes químicos e planos de ação: o que devemos saber?** Ambients, 2013. Disponível em: <[http://www.ambientsconsultoria.com.br/prevencao\\_de\\_acidentes\\_quimicos\\_e\\_planos\\_de\\_acao\\_o\\_que\\_devemos\\_saber.html](http://www.ambientsconsultoria.com.br/prevencao_de_acidentes_quimicos_e_planos_de_acao_o_que_devemos_saber.html)>. Acesso em 09 de outubro de 2017.

HANSEN N.D., STEFFENSEN F.B., VALKVIST M., VAN. COLLE R. **A fire risk assessment model for residential high-rises with a single stairwell.** Fire Safety Journal, 95 (2018), pp 160-169.

HAYASHIDE J.M., BUSCHINELLI J.T.P. 2017. **Critérios de decisão para a definição de exames médicos ocupacionais em atividades críticas: proposição de modelo e exemplos de aplicação no trabalho em altura.** RBSO. São Paulo. 42, p. 72–87.

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. **United Kingdom Legislation. Falls from height: prevention and risk control effectiveness.** United Kingdom; 2003 [citado em 8 dez 2013]. Disponível em: <http://bit.ly/2jZlwUh>

HOPKINS D., VAN COILE R., LANGE D. **Certas incertezas - demonstrando a segurança na engenharia de incêndio e a necessidade de metas de segurança.** SFPE, Europa (2017), page 07.

LUNDIN J. **Safety in Case of Fire – the Effect of Changing Regulations.** Doctoral thesis, Lund University, 2005.

MORAES JR D., MORAES M.S. 2012. **Laboratório de Operações Unitárias II.** Santos: Universidade Santa Cecília, 536 p.

MPSP GAEMA/BS. Ministério Público do Estado de São Paulo - Grupo de Atuação Especial de Defesa do Meio Ambiente / Núcleo Baixada Santista. Inquérito Civil – IC Nº 14.0703.0000028/2015-1. Volume 17. **Danos Ambientais decorrentes de incêndio em tanques de armazenagem na empresa Ultracargo, em Santos –** Dra. Flávia M. Gonçalves. Fls. 3675 – 3699.

M KEY M., HENSCHER A.F., BUTLER J. et al. **Occupational Diseases – A Guide to Their Recognition.** U. S. Department of Health, Education, and Welfare. Public Health Service. Center for a Disease Control. National Institute for Occupational Safety and Health. Revised Edition, Washington, p. 415-419, jun, 1977.

NOGUEIRA M.A., TOLEDO J.C. **Uma abordagem para o Uso do FMEA.** Banas Qualidade, Ano VIII, Nº. 90. 1999.

ODDONE I., MARRI G., GLORIA S. **Ambiente de trabalho: a luta dos trabalhadores pela saúde.** São Paulo: Hucitec; 1986.

PARDO J.A.R. **Metodologia para análise e gestão de riscos em projetos de pavimentos ferroviários.** Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Minas. NUGEO, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 83-91. 2009.

SANTOS E.L., FALCONI J.R.R., CASTRO F.C.C. **Laudo Técnico 1815-16 CAEX - Centro de Apoio Operacional à Execução. Ministério Público do Estado de São Paulo e ULTRACARGO Terminais Ltda.** Valoração e danos ambientais decorrentes do incêndio na ULTRACARGO, município de Santos (2016).

SANTOS R.N.C. **Enquadramento das Análises de Risco em Geotecnia.** Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC: Dissertação de Mestrado, Lisboa, 2007.

SCABBIA A.L.G., BERTO A.F., VITTORINO F. Anexo A - Relatório Técnico Nº. 148.500-205. **Análise da dinâmica da ruptura da bomba de exportação instalada na CETRAN IV a partir de análise por tomografia via raio-X de suas partes constituintes.** IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. CETAC - Centro Tecnológico do Ambiente Construído / LSFEx - Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões. LT 1815-16 MPSP/CAEX. Valoração e danos ambientais decorrentes do incêndio na ULTRACARGO, município de Santos (2016).

ULTRACARGO. **Revista Conexão – Unidos somos mais fortes.** Especial Santos. Disponível em:  
<[https://extranet.ultracargo.com.br/subportais/raiz/popup/REVISTA\\_CONEXAO/Conexao\\_Agosto\\_2015/Conexao\\_EspecialSantos.pdf](https://extranet.ultracargo.com.br/subportais/raiz/popup/REVISTA_CONEXAO/Conexao_Agosto_2015/Conexao_EspecialSantos.pdf)>. Acesso em 19 de novembro de 2017.

XUE L., VILLALOBOS, R. 2012. **A multi-objective optimization primary planning model for POE (Port-of-Entry) inspection.** J. Transport. Secur. 5, p. 217–237.