

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RAPHAEL ADRYANO ARAUJO DE OLIVEIRA

MODELO MATEMÁTICO PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL E FINANCEIRA DA
APLICAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE CONTROLE DE EMISSÃO EM TANQUES DE
ARMAZENAMENTO: TETOS FLUTUANTES INTERNOS

CURITIBA

2015

RAPHAEL ADRYANO ARAUJO DE OLIVEIRA

MODELO MATEMÁTICO PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL E FINANCEIRA DA
APLICAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE CONTROLE DE EMISSÃO EM TANQUES DE
ARMAZENAMENTO: TETOS FLUTUANTES INTERNOS

Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente,
curso de pós-graduação Meio Ambiente Urbano e
Industrial - PPGMAUI, Universidade Federal do
Paraná, Universidade de Stuttgart e SENAI Paraná.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª Mônica Beatriz Kolicheski
Coorientador: Prof. Msc. Mauricy Kawano

CURITIBA

2015

O48

Oliveira, Raphael Adryano Araújo de

Modelo matemático para avaliação ambiental e financeira da aplicação de dispositivos de controle de emissão em tanques de armazenamento: tetos flutuantes internos – Curitiba: UFPR/ITTI, 2015.

152 : il.; tabs. : color. : 30 cm.

Dissertação – Universidade Federal do Paraná, Universidade de Stuttgart e SENAI Paraná, Programa de Pós Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientadora: Prof^a. Dr^a Mônica Beatriz Kolicheski - Coorientador: Prof. Msc. Mauricy Kawano.

Bibliografia: p.125-131.

1. Compostos orgânicos voláteis. 2. Meio Ambiente. 3. Indústria - Petroquímica. I. Universidade Federal do Paraná. II. Kolicheski, Mônica Beatriz. III. Kawano, Mauricy. IV. Título.


CDD 665.53827

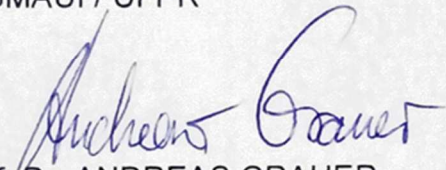
TERMO DE APROVAÇÃO

RAPHAEL ADRYANO ARAUJO DE OLIVEIRA

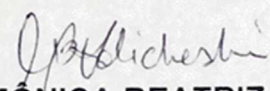
MODELO MATEMÁTICO PARA AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE CONTROLE DE EMISSÃO EM TANQUES DE ARMAZENAMENTO: TETOS FLUTUANTES INTERNOS

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com SENAI/PR e a *Universität Stuttgart*, Alemanha, pela seguinte banca examinadora:


Prof.^a Dr.^a MÔNICA BEATRIZ KOLICHESKI
PPGMAUI / UFPR


Prof. Dr. ANDREAS GRAUER
PPGMAUI / UFPR


Prof.^a Dr.^a MARIA JOSÉ JERONIMO SANTANA PONTE
(PPGMEC / UFPR)


Prof.^a Dr.^a MÔNICA BEATRIZ KOLICHESKI
Coordenadora em exercício do PPGMAUI-UFPR

Curitiba, 14 de agosto de 2015.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus familiares. Minha esposa Ana Paula, cuja dedicação e aplicação tanto em seu trabalho quanto nos afazeres de casa são uma inspiração para o meu empenho. Minha mãe India O'ara, pai Antônio Francisco e irmãos Maria de Guadalupe, Wellington Aloysio, Anna Julia e Luciana Maria que mesmo sem saber me explicaram na prática o valor e a perpetuidade do conhecimento. Além deles, não posso deixar de agradecer à nova integrante de minha família, minha estrela Ana Beatriz, que é o grande motivo de eu buscar evoluir como pessoa, em todos os campos.

Em segundo lugar, mas não menos importante, gostaria de agradecer à toda equipe do grupo VETOR-MATHIAS, em que trabalho. Para minha sorte, consegui estabelecer uma carreira (ainda curta, mas já de 5 anos) em uma empresa que reconhece e proporciona todas as possibilidades que um funcionário pode desejar.

Apesar de haver dificuldades e desafios que parecem por muitas vezes intransponíveis, a confiança da empresa em seus funcionários faz com que as barreiras se reduzam e as soluções do conjunto de equipes multidisciplinares apareçam e se sobreponham internamente e, certamente, são vislumbradas no mercado.

Foi com as oportunidades que me firmei profissionalmente e a recompensa pela dedicação não foi apenas salarial. Consegui atingir metas pessoais como um casamento de sucesso, um bom local para viver, uma filha que é a luz de minha vida e agora, um mestrado.

Claro que não poderiam faltar agradecimentos e elogios à minha professora orientadora, a Prof^a. Dr^a Mônica Beatriz Kolicheski, que me auxiliou a compreender melhor os desdobramentos do meu próprio trabalho e me auxiliou a apresentá-lo de forma compreensível.

Sobretudo, nada disso seria possível, se não houvesse a permissão e um início, e a Ele, sou muito grato por tudo isso.

Também agradeço ao SIMEPAR pela disponibilidade oferecida nos dados utilizados neste trabalho.

RESUMO

Com o aumento de atividades e investimentos no setor petroquímico brasileiro a partir da década de 1980 do século XX, houve uma preocupação e interesse geral na redução das emissões em tanques de armazenamento, tanto do ponto de vista ambiental quanto do ponto de vista econômico. Devido a crescente demanda e necessidade de reservas cada vez maiores para abastecimento das cidades, tanto as refinarias quanto as distribuidoras precisaram aumentar o volume de armazenamento, criando novos focos de emissão de compostos orgânicos voláteis. Do ponto de vista ambiental, a redução das emissões de compostos orgânicos voláteis reflete em uma melhoria na eficiência energética, pois a redução da evaporação do produto garante o melhor aproveitamento em seu uso. Proporciona também uma redução da poluição e conseqüentemente melhoria na qualidade de vida na vizinhança. Já a partir do ponto de vista econômico e financeiro, é vantajoso e interessante para empresas que armazenam produtos voláteis investir em um sistema de redução de emissão, garantindo o retorno de seu investimento por meio da redução nas perdas dentro de um período determinado, com taxa de retorno previamente estipulados. Com o objetivo de determinar um parâmetro confiável para a decisão de investimento em um dos dispositivos de controle de emissão, o teto flutuante interno, avaliou-se a literatura e *software* disponibilizado pela U.S.EPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) utilizando simulações de perdas por evaporação de acordo com características das instalações do tanque considerado e comparar estas com condições reais de armazenamento a partir de ensaios em escala piloto. Tanto para os ensaios quanto para as simulações, foram variadas as características construtivas do tipo de teto (fixo e flutuante), dimensionais (diâmetro e altura), operacionais (volume de preenchimento), do fluido armazenado e condições ambientais de armazenamento, para encontrar a solução construtiva e economicamente mais adequada ao tanque, elaborando assim uma ferramenta de decisão para os projetistas e investidores. No decorrer do trabalho, foi possível apresentar e classificar condições e situações nos tanques de armazenamento, bem como suas influências sobre as perdas por emissão fugitiva. A partir de um comparativo entre perdas percentuais encontradas nas simulações utilizando o *software* TANKS 4.09d, disponibilizado pela U.S.EPA, do modelamento matemático simplificado desenvolvido neste trabalho e dos resultados encontrados nos ensaios em protótipos, foi possível avaliar e validar o modelamento matemático como uma ferramenta simplificada de cálculo de emissão para tanques com ou sem tetos flutuantes internos. A partir desta relação de redução nas perdas, foi possível propor um método para avaliação financeira de implantação dos tetos flutuantes internos como solução de redução de emissão com previsão de retorno de investimento.

Palavras-chave: Perdas percentuais, Emissões fugitivas, Compostos orgânicos voláteis, Eficiência. Combustíveis. Petroquímica.

ABSTRACT

With the increase of activities and investments in the Brazilian petrochemical industry to since the 1980s of XX century , there was a concern and general interest in reducing emissions in storage tanks, from an environmental point of view and from an economic point of view. Due to increasing demand and need for increasing reserves to supply the cities, refiners and dealers had to increase its volume of storage , creating new emission focus of volatile organic compounds. From an environmental point of view, the reduction of emissions of volatile organic compounds reflected in an improvement in energy efficiency, because reducing the evaporation of the products ensure their best advantage in their use. It also provides the pollution reduction and consequently improve the quality of life in the neighborhood. From the economic and financial point of view , it is advantageous and interesting for companies that store volatiles invest in an emissions reduction systems, ensuring return on investment through its reduction in losses within a period , with rate return previously determine. In order to determine a reliable parameter for investment decision on one of emission control devices - the internal floating roof - intended to evaluate the literature and software available from U.S. EPA (Environmental Protection Agency of the United States) through evaporative losses simulations according to characteristics of the tank facilities considered and compare these with actual storage conditions from tests on a pilot scale. For both tests as for the simulations, will vary the constructive characteristics of the ceiling type (fixed and floating), dimensional (diameter and height), operating (fill volume), the stored fluid and environmental storage conditions, to find constructive solution and economically appropriate to the tank, thereby developing a decision tool for designers and investors. While this work, it was possible to present and sort conditions and situations in the storage tanks , as well as their influences on losses fugitive emissions. From a comparison between percentage losses found in the simulations using the TANKS 4.09d software, made by the USEPA , the simplified mathematical model developed in this study and the results found in tests on prototypes, it was possible to assess and validate the mathematical modeling as a tool simplified emission calculation for tanks with or without inner floating roofs. From this reduction in loss ratio, it was possible to propose a method for financial evaluation of implementation of internal floating roofs as emission reduction solution with investment return evaluation.

Keywords: Percentage losses, fugitive emissions , volatile organic compounds , Efficiency . Fuels. Petrochemical.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PROCESSOS DA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO	27
FIGURA 2 - VÁLVULA DE ALÍVIO DE PRESÃO E VÁCUO SOBRE TANQUES COM TETO DOMO.....	31
FIGURA 3 - TANQUES DE ARMAZENAMENTO ATMOSFERICOS E SEUS COMPONENTES DOMO	34
FIGURA 4 - TETO FLUTUANTE EXTERNO E DETALHE DO SELO PW	39
FIGURA 5 - ANEL DE VEDAÇÃO PERIFÉRICO E FLUTUADORES EM TETO FLUTUANTE INTERNO	41
FIGURA 6 - DETALHES DE SUSTENTAÇÃO DE TETO FLUTUANTE INTERNO POR CABOS E POR PÉS.....	42
FIGURA 7 - INTERFERÊNCIAS DE TUBULAÇÕES NO TETO FLUTUANTE INTERNO	42
FIGURA 8 - MONTAGEM DE TETOS FIXOS GEODÉSICOS.....	43
FIGURA 9 - TIPOS DE TETO FLUTUANTE EXTERNO – QUANTO AOS FLUTUADORES.....	51
FIGURA 10 - COMPONENTES SUJEITOS À VEDAÇÃO EM PROJETO DE TETO FLUTUANTE INTERNO	63
FIGURA 11 - TELA INICIAL <i>SOFTWARE TANKS 4.09D</i>	64
FIGURA 12 - DADOS METEREOLÓGICOS <i>SOFTWARE TANKS 4.09D</i>	65
FIGURA 13 - DADOS DE ENTRADA PARA TANQUES DE TETO FIXO	66
FIGURA 14 - DADOS DE ENTRADA PARA TANQUES DE TETO FIXO COM TETO FLUTUANTE	67
FIGURA 15 - SELEÇÃO DE CIDADE E CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS.....	68
FIGURA 16 - SELEÇÃO DE PRODUTO ARMAZENADO E SUAS CARACTERÍSTICAS.....	68
FIGURA 17 - SELEÇÃO DE MODELO DE APRESENTAÇÃO DE RESULTADO (ANUAL OU MENSAL).....	69
FIGURA 18 - PERDAS TÍPICAS DE TANQUE COM TETO FIXO (CÔNICO OU DOMO) – RESULTADOS EM MASSA (lb).....	69

FIGURA 19 - PERDAS TÍPICAS DE TANQUE COM TETO FIXO E FLUTUANTE INTERNO – RESULTADOS EM MASSA (lb).....	70
FIGURA 20 - COMPOSIÇÃO DE CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO:	73
FIGURA 21 - COMPOSIÇÃO DE CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO COMPLEMENTAR	74
FIGURA 22 - REPRESENTAÇÃO DE COMPORTAMENTO DE PERFIS DE PERDA PERCENTUAL EM FUNÇÃO DO VOLUME DO TANQUE	76
FIGURA 23 – REPRESENTAÇÃO DE COMPORTAMENTO DE PERFIS DE PERDA PERCENTUAL EM FUNÇÃO DO VOLUME DO TANQUE – AGRUPADAS POR TIPO DE PRODUTO E TETO	77
FIGURA 24 - REPRESENTAÇÃO DE COMPORTAMENTO DE PERFIS DE PERDA PERCENTUAL EM FUNÇÃO DO VOLUME DO TANQUE – AGRUPADAS POR NÚMERO DE CICLOS E TETO	78
FIGURA 25 - CONDIÇÕES DE VEDAÇÃO DOS PROTÓTIPOS	83
FIGURA 26 - PROTÓTIPOS, BALANÇA E CRONOGRAMA DE ENSAIOS	84
FIGURA 27 - MODELO DOS RELATÓRIOS DE MEDIÇÃO DIÁRIOS	85
FIGURA 28 - RELAÇÃO DE PERDAS PERCENTUAIS EM TANQUES DE TETO FIXO DOMO E CÔNICO (lb).....	90
FIGURA 29 - RELAÇÃO DE PERDAS PERCENTUAIS EM TANQUES DE TETO FIXO DOMO E CÔNICO (%).....	90
FIGURA 30 - RELAÇÃO DE PERDAS PERCENTUAIS DE TANQUES COM E SEM TETO FLUTUANTE (lb).....	92
FIGURA 31 - RELAÇÃO DE PERDAS PERCENTUAIS DE TANQUES COM E SEM TETO FLUTUANTE (%).....	93
FIGURA 32 - PROPORÇÃO E ENTRE TANQUES DE DIFERENTES VOLUMES DE OPERAÇÃO.....	94
FIGURA 33 - RESULTADOS ORGANIZADOS COM LIMITES DE TANQUE CHEIO E INTERMÉDIÁRIO	97
FIGURA 34 - RELAÇÃO DE APROVEITAMENTO DE VOLUME VAZIO	99
FIGURA 35 - RESULTADOS DE PERDA CORRIGIDOS COM TANQUE DE 15.000m ³	101
FIGURA 36 - PERDA POR EMISSÃO, COM VARIAÇÕES DO NÚMERO DE CICLOS.....	103

FIGURA 37 - PERDAS EM TANQUES COM TETO FIXO SEM TETO FLUTUANTE, POR PRODUTO.....	104
FIGURA 38 - PERDAS EM TANQUES COM TETO FIXO COM TETO FLUTUANTE, POR PRODUTO.....	104
FIGURA 39 - RELAÇÃO DE PERDAS PARA TANQUE SEM TETO FLUTUANTE INTERNO COM O PONTO DE FULGOR.....	106
FIGURA 40 - RELAÇÃO DE PERDAS PARA TANQUE SEM TETO FLUTUANTE INTERNO SEM O PONTO DE FULGOR	108
FIGURA 41 - COMPARAÇÃO ENTRE AS PERDAS PERCENTUAIS OBTIDAS UTILIZANDO SOFTWARE TANKS E MODELO MATEMÁTICO SIMPLIFICADO PROPOSTO PARA TANQUES SEM TETO FLUTUANTE INTERNO.....	110
FIGURA 42 - COMPARAÇÃO ENTRE AS PERDAS PERCENTUAIS OBTIDAS UTILIZANDO SOFTWARE TANKS E MODELO MATEMÁTICO SIMPLIFICADO PROPOSTO PARA TANQUES COM TETO FLUTUANTE INTERNO	110
FIGURA 43 - COMPARATIVOS DE PERDAS PREVISTAS PELA SIMULAÇÃO DO SOFTWARE TANKS, MODELAMENTO MATEMÁTICO E ENSAIOS	118
FIGURA 44 - COMPARAÇÃO DO PERCENTUAL DE PERDAS OBTIDOS EXPERIMENTALMENTE E PELO SOFTWARE TANKS	119
FIGURA 45 - COMPARAÇÃO DO PERCENTUAL DE PERDAS OBTIDOS EXPERIMENTALMENTE E PELO MODELO PROPOSTO NESTE TRABALHO ...	119
FIGURA 46 – TEMPERATURA MÉDIA EM CURITIBA NOS ÚLTIMOS 5 ANOS...	152

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - FATOR DE PINTURA PARA TANQUES DE TETO FIXO	49
TABELA 2 - FATORES DE PERDA EM VEDAÇÃO DE TETOS FLUTUANTES (CONTINUA)	53
TABELA 3 - FATOR DE ADERÊNCIA NO COSTADO	55
TABELA 4 - NÚMERO TÍPICO DE COLUNAS DE TETOS FIXOS PARA TANQUES COM TETO FLUTUANTE INTERNO	55
TABELA 5 - FATORES DE PERDA DE VEDAÇÕES E NÚMERO TÍPICO DE BOCAIS DE TETO (CONTINUA)	57
TABELA 6 - NÚMERO DE QUEBRA VÁCUO E DRENOS PARA TETOS FLUTUANTES.....	60
TABELA 7 - NÚMERO DE PERNAS DE SUSTENTAÇÃO PARA TETOS FLUTUANTES.....	60
TABELA 8 - FATORES DE PERDA EM VEDAÇÕES E NÚMERO DE BOCAIS DE TETOS INTERNOS (CONTINUA):.....	62
TABELA 9 - PERDA EM CHAPARIA PARA CONSTRUÇÕES DE TETO FLUTUANTE INTERNO	64
TABELA 10 - ALTURAS E VOLUMES OPERACIONAIS	72
TABELA 11 - MASSA ESPECÍFICA E PONTO DE FULGOR	72
TABELA 12 - VALORES DE MERCADO UNITÁRIOS PARA PRODUTOS ARMAZENADOS.....	80
TABELA 13 - VARIÁVEIS DETERMINADAS PARA OS ENSAIOS.....	82
TABELA 14 - COMPARAÇÃO DAS SIMULAÇÕES DE TETOS FIXOS TIPO CÔNICO E TIPO DOMO	89
TABELA 15 - COMPARATIVO DE TANQUES DE TETOS FIXO COM E SEM TETO FLUTUANTE	91
TABELA 16 - RESULTADOS ORGANIZADOS POR LIMITE DE TANQUE CHEIO E INTERMÉDIO.....	96
TABELA 17 - VERIFICAÇÃO DO VOLUME VAZIO PROPORCIONAL EM CADA TANQUE	98

TABELA 18 - ALTERAÇÃO DO TANQUE DE 10.000 m ³ PARA 15.000 m ³ PARA EFEITO DE CÁLCULO	100
TABELA 19 - PERCENTUAIS DE PERDA POR EMISSÃO, COM VARIAÇÕES DO NÚMERO DE CICLOS:	103
TABELA 20 - RELAÇÃO DE PERDAS COM PONTOS DE FULGOR	105
TABELA 21 - CUSTOS DE APLICAÇÃO DE TETOS FLUTUANTES INTERNOS ..	113
TABELA 22 - PERCENTUAL DE GANHO ANUAL (G _n)	113
TABELA 23 - COMPARATIVO – GANHOS ANUAIS X CUSTO DE APLICAÇÃO..	114
TABELA 24 – TEMPERATURA MÉDIA EM CURITIBA NOS ÚLTIMOS 5 ANOS ..	152

LISTA DE QUADROS:

QUADRO 1 - CARACTERÍSTICAS DOS DIFERENTES SEGMENTOS DA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA	26
QUADRO 2 - IMPACTOS AMBIENTAIS DOS PROCESSOS DAS REFINARIAS DE PETRÓLEO.....	28
QUADRO 3 - TIPOS DE TETOS PARA TANQUES DE ARMAZENAMENTO ATMOSFÉRIOCO	36
QUADRO 4 - MAPEAMENTO DAS ATIVIDADES REALIZADAS	46
QUADRO 5 - TEMPERATURA MÉDIA ANUAL EM FUNÇÃO DA COR DO TANQUE	49
QUADRO 6 - ORGANIZAÇÃO DE RESULTADOS	86

LISTA DE ABREVIATURAS

API	<i>American Petroleum Institute</i> (Instituto de Petróleo Americano)
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i> (Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos)
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CASAC	<i>Clean Air Scientific Advisory Committee</i> (Comitê Consultivo Científico do Ar Limpo)
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CO	Monóxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
FCC	Craqueamento Catalítico Fluidizado
FISPQ	Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico
HDT	Unidade de Hidrotratamento
Hg	Mercúrio
MP	Material Particulado (MP _{2,5} – Material Particulado Fino, menor que 2,5µm e MP ₁₀ – Material Particulado Grosso, menor que 10µm)
NBR	Normas Brasileiras
NR	Norma Regulamentadora
NO _x	Óxidos de Nitrogênio (NO - Monóxido de Nitrogênio e NO ₂ - Dióxido de Nitrogênio)
OMS	Organização Mundial da Saúde
PRONAR	Programa Nacional da Qualidade do Ar
Pb	Chumbo
SO ₂	Dióxido de Enxofre
TOC	<i>Total Organic Carbon</i> (Carbono Orgânico Total)
UNECE	Comissão Econômica Europeia das Nações Unidas
U.S. EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i> (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos)

LISTA DE VARIÁVEIS

c	Número de ciclos por ano, adimensional
C	Fator de ajuste dimensional para pequenos tanques (adimensional)
C_F	Fator de aderência do costado (barril/1000ft ²)
D	Diâmetro do tanque (ft), ou, caso indicado, em (m ou cm)
F_C	Fator de colunas de sustentação (adimensional)
F_F	Fator de perda total nas vedações dos componentes (lbmol/ano)
F_P	Fator de pintura (adimensional)
f_c	Fator de ciclos, adimensional
G_n	parcela de ganho percentual do produto armazenado naquela determinada situação, anual (%/ano)
H	Altura do tanque (ft), ou, caso indicado, em outra unidade de comprimento (m ou cm)
h'	Altura média de espaço vapor (ft), ou, caso indicado, em outra unidade de comprimento (m ou cm)
K_C	Fator de produto (adimensional)
K_D	Fator de perda na vedação na película do teto flutuante interno (0,34 lbmol / ft-ano)
K_{fai}	Fator de perda para tipo particular de bocal de teto
K_{fbi}	Fator de perda para tipo particular de bocal de teto
K_{Fi}	Fator de perda de bocais do teto (lbmol/ano),
K_n	Fator de movimentação (adimensional).
K_S	Fator de eficiência da vedação do anel periférico (adimensional)
L_D	Perda por emissão pela vedação da chaparia (película de cobertura) (lb/ano) – teto flutuante interno
L_F	Perda por emissão pela vedação de componentes (lb/ano) – teto flutuante interno
L_R	Perda no anel periférico de vedação (lb/ano)
L_{RF}	Perda por emissão pela vedação de componentes (lb/ano) – teto flutuante externo
L_S	Perda por emissão por “respiração” – ocasionadas por sobre pressão ou vácuo conseqüente de diferenças de temperatura do tanque (lb/ano)

LISTA DE VARIÁVEIS

L_T	Perdas por emissão totais (lb/ano)
L_S	Perda por emissão por “respiração” – ocasionadas por sobre pressão ou vácuo consequente de diferenças de temperatura do tanque (lb/ano)
L_T	Perdas por emissão totais (lb/ano)
L_W	Perda por emissão por trabalho em tetos fixos – sobre pressão ou vácuo consequente de operações de enchimento e esvaziamento do tanque (lb/ano)
L_{WD}	Perda por emissão por trabalho em tetos flutuantes – sobre pressão ou vácuo consequente de operações de enchimento e esvaziamento do tanque (lb/ano)
M_v	Peso molecular do vapor do produto armazenado no tanque (lb/lbmol)
m_i	Fator de perda para tipo particular de bocal de teto
N	Número de operações de enchimento/esvaziamento no ano (adimensional)
N_C	Quantidade de colunas (adimensional)
N_{Fi}	Número de bocais de inspeção em flutuadores ($i = 0,1,2\dots n$ - adimensional)
n	Número total dos diferentes tipos de bocal (adimensional)
P	Pressão de vapor na condição do líquido armazenado (psia)
P^*	Fator de pressão do tanque (adimensional)
P_A	Pressão atmosférica média na localização do tanque (psia)
P_f	Ponto de Fulgor (°C)
$P_{UM\$}$	Valor em unidade monetária economizada por ano, com a aplicação do teto flutuante interno (UM\$/ano)
Q	Movimentação anual (barril/ano)
S_D	Fator de comprimento de vedação em teto flutuante interno (ft / ft ²)
$T_{UM\$}$	Valor médio de mercado em unidade para aplicação de um teto flutuante interno em UM\$
T_A	Temperatura média anual local (°F)

LISTA DE VARIÁVEIS

T_s	Temperatura de armazenamento do líquido (°F)
$UM\$$	Unidade Monetária
$U_{UM\$}$	Valores unitários por litros do produto armazenado (UM\$/litro)
V	Capacidade volumétrica nominal do tanque (gal) ou, caso indicado, em outra unidade de volume (m ³ ou cm ³)
V_c	Capacidade volumétrica total calculada para o tanque (gal) ou, caso indicado, em outra unidade de volume (m ³ ou cm ³)
Ψ	Capacidade volumétrica operacional do tanque (gal) ou, caso indicado, em outra unidade de volume (m ³ ou cm ³)
v	Velocidade do vento no local do tanque (mph)
W_L	Massa específica do líquido (lb/gal).
y	Tempo de retorno da aplicação do teto flutuante em anos
z	Expoente da Velocidade do vento no local do tanque v (adimensional)
ΔT	Média da variação de temperatura (°F)
ξ	Perda por emissão percentuais e relativas ao volume operacional (%)
ξ_{calc}	Valor de Perda por emissão percentuais e relativas ao volume operacional (%) calculada a partir do equacionamento simplificado proposto
$\% \xi_{calc}$	Grau de incerteza do cálculo comparado ao cálculo elaborado pelo <i>software</i>
ξ_{FIXO}	Valor de Perda por emissão percentuais e relativas ao volume operacional (%) calculada a partir do equacionamento simplificado proposto – para tanques com teto fixo sem teto flutuante interno
$\xi_{FLUTUANTE}$	Valor de Perda por emissão percentuais e relativas ao volume operacional (%) calculada a partir do equacionamento simplificado proposto – para tanques com teto fixo com teto flutuante interno
η	Diferença percentual entre tanques de teto fixo e tanques com teto fixo e teto flutuante interno (%)
ρ	Massa específica (kg/m ³) ou (lb/gal)
τ	Diferença percentual entre tanques de teto fixo autoportantes tipo cônico e tipo domo (%)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 JUSTIFICATIVA	22
1.2 OBJETIVO GERAL	23
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
2 REVISÃO DE LITERATURA	24
2.1 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	24
2.2 EMISSÕES NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA.....	25
2.3 COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS.....	29
2.3.1 Problemas ambientais, de saúde e ocupacionais causados por emissão de COV	29
2.4 EMISSÕES FUGITIVAS EM TANQUES DE ARMAZENAMENTO	30
2.4.1 Fatores que influenciam na dispersão das emissões em tanques de armazenamento.....	31
2.4.2 Controle de Emissão em Tanques de Armazenamento	32
2.5 CONCEITOS DE PROJETO PARA TANQUES DE ARMAZENAMENTO.....	33
2.5.1 Tanques de Armazenamento	34
2.5.2 Tetos flutuantes externos e internos.....	39
2.6 MODELAGENS MATEMÁTICAS PARA EMISSÃO EM TANQUES DE ARMAZENAMENTO ATMOSFÉRICOS.....	43
2.7 IMPACTOS FINANCEIROS NA APLICAÇÃO DE TETOS FLUTUANTES INTERNOS.....	44
3 METODOLOGIA	46
3.1 MAPEAMENTO DE ATIVIDADES.....	46
3.2 SIMULAÇÕES EM <i>SOFTWARE</i>	46
3.2.1 Metodologia de cálculo aplicada no software <i>Tanks 4.09d</i>	48
3.2.1.1 Cálculo de emissão em tanques com teto fixo	48
3.2.1.2 Cálculo de emissão em tanques com teto flutuante externo	50
3.2.1.3 Cálculo de emissão em tanques com teto flutuante interno	60
3.2.1.4 Utilização do <i>Software TANKS 4.09d</i>	64
3.2.2 Premissas adotadas	70
3.2.3 Determinação das variáveis de análise	72

3.2.4 Cenários simulados	73
3.2.5 Perdas por emissão percentuais	75
3.3 MODELAMENTO MATEMÁTICO	75
3.3.1 Desenvolvimento de modelo matemático para comparação de redução de emissão em tanques com e sem teto flutuante interno	75
3.3.2 Limites de aplicação e tolerância do modelo matemático proposto para redução de emissão	77
3.3.3 Desenvolvimento de modelo matemático para avaliação financeira da aplicabilidade de tetos flutuantes internos:.....	78
3.3.4 Limites de aplicação e tolerância do modelo matemático proposto para avaliação financeira.....	80
3.4 ENSAIOS EM PROTÓTIPOS.....	81
3.4.1 Considerações para trabalhos em escala	81
3.4.2 Variáveis de controle para aplicação do ensaio.....	81
3.4.3 Elaboração de cenários para os ensaios.....	84
3.4.4 Limitações dos ensaios e comparação com os modelos matemáticos...85	
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	86
4.1 ORGANIZAÇÃO DOS RESULTADOS	86
4.2 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	87
4.2.1 Relação de perda em função do tipo de teto fixo do tanque (cônico e domo)..88	
4.2.2 Relação de perda em função da utilização do teto flutuante interno	90
4.2.3 Influência do volume de preenchimento das perdas por emissão fugitiva	93
4.2.4 Influência das perdas superficiais nas perdas por emissão fugitiva	102
4.2.5 Influência do número de ciclos de trabalho nas perdas por emissão fugitivas	102
4.2.6 Influência do ponto de fulgor do produto armazenado das perdas por emissão fugitivas	104
4.3 DESENVOLVIMENTO DO MODELO MATEMÁTICO	105
4.3.1 Equacionamento e tolerância das perdas por emissão fugitivas – tetos fixos sem teto flutuante interno.....	106
4.3.2 Equacionamento e tolerância das perdas por emissão fugitivas – tetos fixos com teto flutuante interno	107

4.3.3 Comparação das perdas por emissão fugitiva obtidas por simulações com <i>Software Tanks 4.09d</i> e com o uso do modelo proposto.....	109
4.3.4 Fator de correção para o número de ciclos.....	111
4.3.5 Avaliação financeira da aplicabilidade de tetos flutuantes internos	112
4.4 ENSAIOS COM PROTÓTIPOS	115
5 CONCLUSÃO	121
6 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS ...	124
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
APÊNDICES	132
APÊNDICE I-a - RESULTADOS PARA TANQUES DE 4.000 m ³ (D =16,7 m X H = 18,5 m)	132
APÊNDICE I-b - RESULTADOS PARA TANQUES DE 10.000 m ³ (D = 29,5 m X H = 25,0 m)	133
APÊNDICE I-c - RESULTADOS PARA TANQUES DE 20.000 m ³ (D = 28,6 m X H = 35,0 m)	134
APÊNDICE I-d - RESULTADOS PARA TANQUES DE 40.000 m ³ (D = 45,0 m X H = 28,8 m)	135
APÊNDICE I-e - RESULTADOS PARA TANQUES DE 80.000 m ³ (D = 65,0 m X H = 25,0 m)	136
APÊNDICE I-f – RESULTADOS PARA TANQUES DE 15.000 m ³ (D = 29,5 m X H = 25,0 m)	137
APÊNDICE II-a- RELAÇÃO DE PERDAS ENTRE RESULTADOS DO SOFTWARE E EQUAÇÕES 25 E 27.....	138
APÊNDICE II-b - VERIFICAÇÃO DA FAIXA DE RESULTADOS.....	140
APÊNDICE III – a - RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS COM OS PROTÓTIPOS DOS TANQUES.....	143
APÊNDICE III – b – COMPARATIVO GERAL DE RESULTADOS	144
APÊNDICE IV – PROJETO DOS PROTÓTIPOS:.....	145
ANEXOS	146
ANEXO I – DOCUMENTO CETESB:	146
ANEXO II – PONTOS DE FULGOR:	147
ANEXO III – DOCUMENTOS DA BALANÇA:	149
ANEXO IV – DADOS METEREOLÓGICOS DE CURITIBA:	152

1 INTRODUÇÃO

O estudo apresentado trata de um comparativo teórico e prático para fundamentar a melhor prática para decisões construtivas de tetos para tanques atmosféricos que armazenam granéis líquidos, avaliando eficiência na redução de emissões atmosféricas de compostos orgânicos voláteis e custo de implantação, com ênfase no desempenho de tetos flutuantes internos.

A literatura vigente para padrões construtivos de tanques de armazenamento são normas técnicas (API-650, 2010; ABNT, 1983) e normas específicas das indústrias que utilizam estes equipamentos, por exemplo: a norma PETROBRAS N-270, (PETROBRAS, 2010).

Estas normas apresentam um conjunto de informações para a execução de projeto de tanques, porém com um menor enfoque na aplicabilidade relacionada ao tipo de produto armazenado e nas perdas por evaporação do produto.

Para tanto, este trabalho propôs conciliar o projeto executivo (seleção de materiais construtivos, economia, segurança e saúde de seus usuários) com a vida útil do equipamento e as perdas por evaporação do produto armazenado.

Além da perda do produto armazenado, as perdas por evaporação geram emissão de poluentes atmosféricos e, portanto, o seu controle é uma forma de minimizar impactos ao meio ambiente.

A estimativa da emissão de compostos voláteis ainda é insipiente no Brasil. Nos Estados Unidos, por exemplo, os fatores de emissão estão disponíveis em um documento: o US EPA *Compilation of Air Pollutant Emission Factors* (AP-42). Este documento apresenta uma metodologia de cálculo para avaliação de perdas por emissão em tanques atmosféricos, para diferentes produtos, com diferentes configurações de tipos de tetos e outras características construtivas.

Com isso, o presente estudo procurou ampliar as possibilidades de escolha do engenheiro projetista no momento da execução de projetos de tanques atmosféricos, trazendo elementos para avaliação de eficiência energética do produto armazenado, retorno de investimento e minimização do impacto ambiental.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com a crescente demanda do setor petroquímico, há uma preocupação e interesse geral na redução das emissões em tanques de armazenamento, tanto do ponto de vista ambiental quanto do ponto de vista econômico.

A problemática a ser abordada neste trabalho consiste na reunião de quesitos ambientais e econômicos.

Do ponto de vista ambiental, a redução das emissões de compostos orgânicos voláteis (COV) reflete em uma melhor eficiência energética, pois a redução da evaporação do produto garante seu melhor aproveitamento em seu uso, proporciona uma redução da poluição e conseqüentemente melhoria na qualidade de vida na vizinhança.

Segundo Heinsohn e Kabel (1999) o ambiente afeta nossa saúde e nossas atividades interferem no meio ambiente. Conforme a população cresce, aumentam também as necessidades de consumo e produção, trazendo conseqüências ao meio ambiente que por sua vez traz conseqüências à saúde da população.

Do ponto de vista econômico e financeiro, Mosaleeyanont e Vivanpatarakij (2014), demonstraram vantagens econômicas para empresas que armazenam produtos voláteis (petroquímicas, químicas, distribuidoras, terminais marítimos, dentre outras) em investir em um sistema de redução de emissão fugitiva para tanques atmosféricos, apresentando as perdas por emissões fugitivas em tanques atmosféricos antes e depois da aplicação de tetos flutuantes internos.

Neste trabalho reuniram-se as considerações sobre emissões fugitivas em tanques atmosféricos e suas conseqüências no meio ambiente, os métodos de cálculo existentes na literatura para embasamento de uma proposta de modelamento matemático simplificado, levando em consideração as perdas volumétricas percentuais, informações típicas de análise utilizadas por investidores ou proprietários de tanques. Com isso, foi possível estabelecer uma ferramenta prática para decisão de investimento na aplicação de tetos flutuantes internos comparando custos de aplicação e manutenção da solução com o retorno do investimento alcançado com a redução de emissões.

Complementarmente foram elaborados ensaios em protótipos para comparação de resultados práticos e avaliação do modelo matemático apresentado.

1.2 OBJETIVO GERAL

Propor uma ferramenta matemática simplificada para fundamentar a escolha dos projetistas, fabricantes e proprietários de tanques atmosféricos, quanto ao tipo de teto aplicado, reunindo os critérios construtivos, operacionais, ambientais e econômicos, baseados na metodologia da U.S.EPA AP-42 Cap. 7.1 (2006).

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo principal compararam-se, por simulações e experimentalmente, as características construtivas (tipo de teto), dimensionais (diâmetro), operacionais (preenchimento), tipo de produto armazenado e condições ambientais (temperatura), para encontrar a melhor solução construtiva, ambiental e econômica. Desta forma se fez necessário:

- i. Descrever as resoluções do documento AP-42 seção 7.1 da U.S. EPA.
- ii. Comparar as perdas percentuais de emissão obtidas em diferentes situações de armazenamento (características construtivas, dimensionais, operacionais e ambientais), utilizando o *software* TANKS 4.09d disponibilizado pela U.S. EPA (2006),
- iii. Propor um modelo matemático simples para determinar as emissões proporcionadas para as simulações executadas.
- iv. Comparar os dados da proposta teórica com os resultados de uma bateria de ensaios em tanques protótipo para diferentes características construtivas, dimensionais, operacionais e do produto armazenado.
- v. Comparar os resultados de perdas por emissão com os custos de utilização em teto flutuante interno, para auxiliar na decisão de investimento nesta solução.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo aborda a problemática ambiental e financeira relacionada às emissões de compostos orgânicos voláteis, suas principais fontes no ramo petroquímico e suas consequências para o ser humano. Apresentando informações sobre as emissões produzidas por tanques de armazenamento, focando nas características e tipos de tanques de armazenamento que influenciam nas emissões, metodologia de cálculo teórico de emissão e consequências econômicas na aplicação do teto flutuante interno.

2.1 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

A atmosfera é uma mistura de substâncias vitais para a vida humana, decorrentes de uma evolução de aproximadamente 400 milhões de anos, e representa apenas 1% do raio da terra (BARRY, 2013).

Com a evolução humana, a atmosfera da Terra passou a ser influenciada por suas atividades. Inicialmente discretas, com o crescimento da população, utilização de recursos naturais e crescimento tecnológico, as atividades humanas passaram a desempenhar um impacto significativo sobre a atmosfera (PARSONS, 2014).

Segundo a definição da Resolução do CONAMA (1990) – Conselho Nacional do Meio Ambiente, “poluentes atmosféricos são quaisquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos em legislação. E que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, propriedades ou atividades das comunidades” (BRASIL, 1990).

Emissões gasosas são grandes contribuintes para este impacto. Os equipamentos que armazenam ou processam produtos estão sujeitos à vazamentos, falhas mecânicas, desgaste de vedações ou características típicas do equipamento

que proporcionam emissões fugitivas inerentes ao processo (COSTA, 2010).

As fontes de emissão podem ser definidas como pontuais ou difusas. As fontes pontuais são caracterizadas por serem pontos de emissão contínua de um determinado processo, como por exemplo, chaminés, tubulações, desgaseificação de equipamentos. Já as fontes difusas são pontos eventuais de emissão, cujas características são normalmente variáveis e influenciadas por condições ambientais locais, como tanques de estocagem, emissões evaporativas de processo e emissões fugitivas (QUINTANILHA, 2009).

As fontes de emissões fugitivas são variadas, tanto de setores industriais quanto de não industriais. Normalmente são divididas em duas categorias: fontes de processo e de ação aberta. A primeira ligada a processos industriais físicos ou químicos, com alimentação de matéria prima. A segunda, ligada a ação do vento ou maquinário exposto ao ar livre (NETO et al., 2015).

De acordo com Oladimeji et al. (2015) dentre as atividades humanas, a indústria petroquímica é um dos maiores contribuintes nas alterações de condição ambiental, por conta de sua longa cadeia produtiva, diversos processos, produtos e alta escala de produção. Algumas das emissões típicas da indústria petroquímica serão descritas à seguir.

2.2 EMISSÕES NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA

A indústria petroquímica é dividida em cinco segmentos: exploração e produção; transporte; refino e mercado.

Estes segmentos tem a finalidade de receber as matérias-primas (óleo bruto e gás natural), transportar e armazenar antes e após o processo de refino (óleos combustíveis e gasolina) e entregar ao consumidor.

Estes segmentos possuem características de processo e equipamentos diferenciados o que permite categorizar e avaliar a influência ambiental de cada etapa, como mostra o Quadro 1. As correlações entre as atividades são apresentadas na Figura 1.

As emissões de gases em refinarias, de acordo com Quelhas et al. (2011),

estão normalmente associadas às seguintes atividades:

- a) Emissões resultantes da queima de combustíveis nos fornos e caldeiras;
- b) Emissões específicas associadas à tecnologia empregada em um determinado processo (como por exemplo queima de coque);
- c) Emissões resultantes da queima dos efluentes direcionados para as tochas
- d) Emissões fugitivas.

Segmento	Características
Exploração e Produção	Estudos geológicos são realizados com o objetivo de encontrar possíveis fontes de óleo bruto e de gás natural. É feito então uma análise de retorno financeiro da reserva com base na sua de sua capacidade produtiva e por fim, executada a perfuração dos poços.
Transporte	Normalmente o transporte de óleo bruto ou gás natural (separado ou combinado) é feito por meio de uma complexa rede de tubulações. Dependendo das distâncias e condições de terreno, o transporte também pode ser feito por caminhões tanque ou mesmo em embarcações (exploração em plataformas marítimas).
Refino	Na refinaria, o óleo bruto é transformado em uma grande variedade de produtos, como combustíveis hidrocarbonetos e outras matérias-primas para indústria petroquímica por processos de separação física e conversão química. O processo de refino também conta com uma fase de transporte e armazenamento destes produtos, porém com uma gama muito maior de variação: tubulações, trens, embarcações e caminhões para as distribuidoras.
Mercado	Os mais de 2500 produtos derivados da indústria do petróleo são armazenados e distribuídos em plantas específicas de distribuição. É importante observar que o impacto ambiental permanece vigente mesmo com o produto pronto e entregue. O consumidor acaba sendo parte do processo de emissão, criando uma rede difusa e de difícil controle.

QUADRO 1 - CARACTERÍSTICAS DOS DIFERENTES SEGMENTOS DA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA
 FONTE: ADAPTADO DE RUCKER E STRIETER (1992)

As etapas do processo produtivo petroquímico apresentam emissões fugitivas por variações de pressão. Estas variações de pressão podem ocorrer na queima de gases no refino, em válvulas de alívio para bombas e tanques, seja no

transporte ou no armazenamento e até mesmo nos escapes de motores combustíveis, ligados ao processo ou mesmo às condições dos equipamentos (vedações desgastadas, equipamento danificado por corrosão ou fadiga, folgas, entre outros).

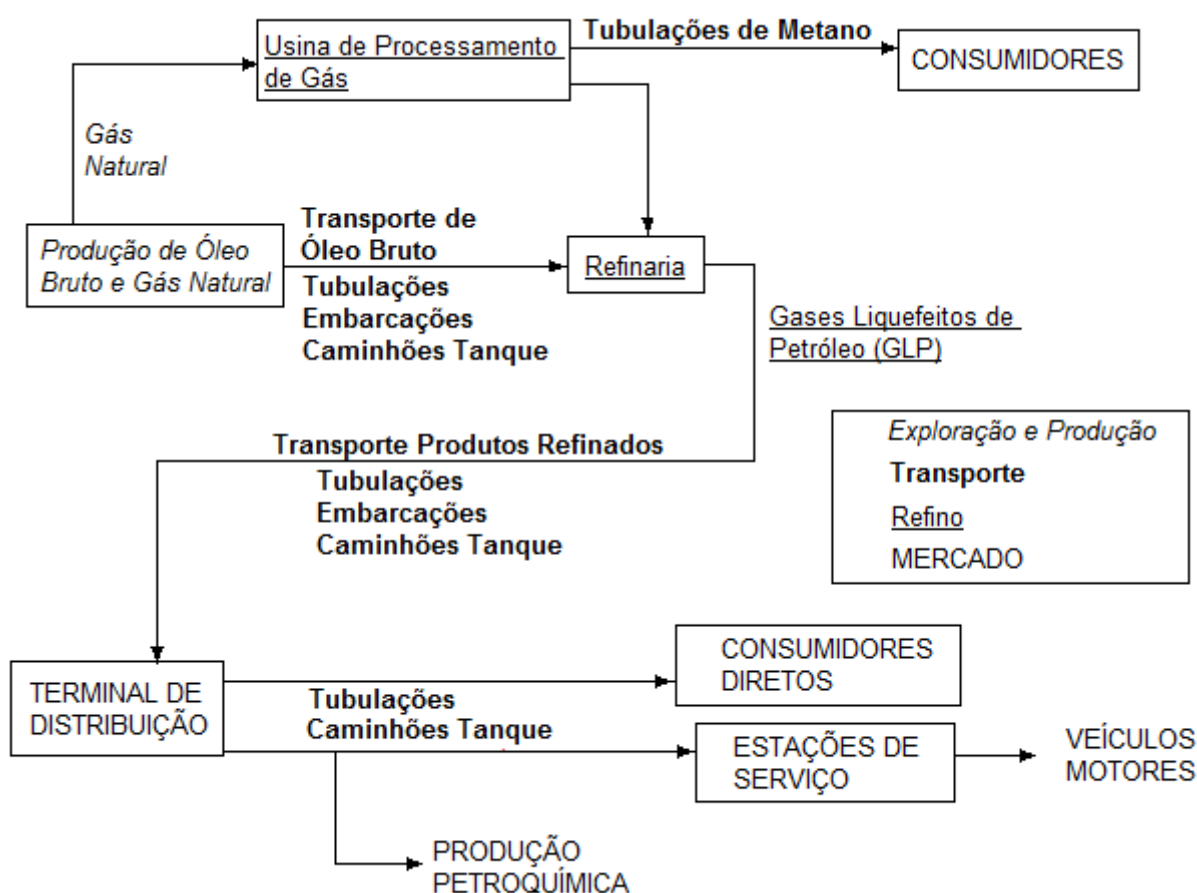


FIGURA 1 - PROCESSOS DA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO
 FONTE: ADAPTADO DE RUCKER e STRIETER (1992)

No Quadro 2 observa-se, qualitativamente, a grande influência das emissões gasosas em praticamente todos os processos de uma refinaria. As áreas funcionais de estocagem e armazenamento possuem uma alta na geração de emissões gasosas e resíduos sólidos, sendo a primeira o objeto de estudo deste trabalho. As emissões gasosas na indústria petroquímica são compostas principalmente por compostos orgânicos voláteis (COV), além do material particulado (MP), dióxido de enxofre (SO₂) e os óxidos de nitrogênio (NO_x), sendo que estes últimos são regulamentadas pela legislação em vigor.

PROCESSO / UNIDADE FUNCIONAL	ASPECTO AMBIENTAL (CONTRIBUIÇÃO)			
	EMISSÃO GASOSA	ÁGUA RESIDUAL	RESÍDUOS SÓLIDOS	RUÍDO
ÁREAS FUNCIONAIS				
Unidades de Mistura	Alta	Alta	Baixa	Muito Baixa
Estocagem / Armazenamento	Alta	Baixa	Alta	Muito Baixa
Carregamento	Alta	Muito Baixa	Muito Baixa	Alta
Expedição	Muito Baixa	Muito Baixa	Muito Baixa	Baixa
PROCESSOS DE SEPARAÇÃO				
Separação de Gases	Alta	Baixa	Baixa	Baixa
Destilação Atmosférica	Alta	Alta	Baixa	Baixa
Destilação à Vácuo	Alta	Alta	Baixa	Baixa
Extração Líquido-Líquido	Alta	Baixa	Baixa	Muito Baixa
Produção de Óleos Básicos Lubrificantes	Alta	Alta	Alta	Baixa
PROCESSO DE CONVERSÃO				
Coqueamento Retardado	Alta	Alta	Alta	Alta
Craqueamento Catalítico Fluidizado (FCC)	Alta	Alta	Alta	Baixa
Hidrocraqueamento	Alta	Alta	Alta	Baixa
Reforma	Alta	Alta	Alta	Baixa
Isomerização	Alta	Alta	Alta	Baixa
Alquilação	Alta	Baixa	Alta	Baixa
PROCESSOS DE ACABAMENTO				
Unidade de Hidrotratamento (HDT)	Alta	Alta	Alta	Baixa
Adoçamento	Alta	Alta	Alta	Baixa
PROCESSOS AUXILIARES				
Adsorção com Peneiras Moleculares	Alta	Muito Baixa	Alta	Muito Baixa
Unidade de Recuperação de Enxofre	Alta	Alta	Baixa	Baixa
Tratamento de Água Residual	Alta	Alta	Alta	Muito Baixa
OUTROS PROCESSOS				
Tocha	Alta	Alta	Baixa	Alta
Torre de Resfriamento	Baixa	Alta	Baixa	Baixa

QUADRO 2 - IMPACTOS AMBIENTAIS DOS PROCESSOS DAS REFINARIAS DE PETRÓLEO
 FONTE: ADAPTADO DE EUROPEAN COMMISSION - IPPC (2003)

2.3 COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS

Compostos orgânicos voláteis (COV) são definidos como compostos com elevada pressão de vapor e facilmente vaporizados às condições de temperatura e pressão ambientes (BOIAN et al., 2015).

De acordo com Parsons (2014) os COV incluem hidrocarbonetos, em condições saturadas, insaturadas, em cadeias abertas, fechadas, cíclicas, aromáticas, halogenadas ou oxigenadas, como por exemplo: aldeídos, álcoois, cetonas, ésteres, éteres e ácidos.

Quase todos os compostos com cadeias carbônicas com menos de 12 átomos de carbono são enquadrados nas características de COV. Estes compostos são comumente emitidos por fontes diversas. Segundo Hoyt e Raun (2015), das 4,7 milhões de toneladas de COV lançadas para a atmosfera nos EUA em 1994, 8% do emitido é devido ao transporte e estocagem de produtos (líquidos) orgânicos voláteis. Os restantes são provenientes de emissão de veículos (27%); utilização de solvente orgânico em revestimento de superfícies (12%); utilização de solvente orgânico não industrial (12%); resíduos industriais (10%); processos industriais e outros.

2.3.1 Problemas ambientais, de saúde e ocupacionais causados por emissão de COV

Acredita-se que a maioria dos COV não sejam tóxicos (ou não muito tóxicos) aos seres humanos. Porém alguns deles (como benzeno) são muito tóxicos e cancerígenos (NEVERS, 2000).

Segundo Shirmer (2009) o efeito direto dos COV sobre a saúde humana pode ir desde mal estar, efeitos cancerígenos, efeitos no sistema cardiovascular e respiratório, até sérias intoxicações. A grande variedade e abundância da fase vapor de COV no ar são potenciais para causa de irritabilidade sensorial e sintomas ao sistema nervoso central. Os COV são comumente ligados às doenças ocupacionais.

Exposição aos poluentes do ar em condições tão severas a ponto de causarem doenças críticas ou morte são raras, mesmo em países com maior grau de

industrialização, como EUA e China. Porém a exposição frequente a condições de alta concentração de poluentes ou de compostos tóxicos, como por exemplo, em condições de trabalho em indústrias petroquímicas, acompanhamento de processos, limpezas em ambientes confinados, dentre outros; podem trazer consequências à saúde dos trabalhadores ou à comunidade local (GODISH, 2004).

No meio ambiente a presença destes componentes na atmosfera permite a combinação com óxidos de nitrogênios e formação de ozônio na presença de luz solar, formando o *Smog* Fotoquímico¹, prejudicial às plantas, animais e seres humanos (NEVERS, 2000).

2.4 EMISSÕES FUGITIVAS EM TANQUES DE ARMAZENAMENTO

Os tanques atmosféricos são equipamentos que permitem uma reserva de abastecimento e garante o contínuo funcionamento de plantas petroquímicas ou mesmo o abastecimento de cidades (BARROS, 2003). As emissões de COV provenientes destes tanques decorrem das perdas por evaporação dos produtos combustíveis e químicos estocados neles.

Os tetos dos tanques são dotados de um respiro com válvulas de alívio de pressão e vácuo, preparados para abertura em manobras de carregamento e descarregamento, bem como para dilatação e contração do produto ocasionado pelas diferenças de temperatura entre dia e noite.

As emissões fugitivas, ou perdas de produto por evaporação para atmosfera, ocorrem nos momentos em que esta válvula é aberta para garantir os limites de pressão e vácuo estipulados em projeto para os tanques API-2000 (2009), conforme Figura 2.

¹ – “Smog” – mistura de termos “Smoke” – fumaça e “Fog” – Neblina, ambos em inglês. O Smog fotoquímico ocorre quando os NOx juntamente com os COV reagem sob a radiação solar, proporcionando a formação de gases agressivos, cujo principal representante é o ozônio (Alvares et al., 2002).



FIGURA 2 - VÁLVULA DE ALÍVIO DE PRESÃO E VÁCUO SOBRE TANQUES COM TETO DOMO
FONTE: VETOR-MATHIAS (2015)

As emissões fugitivas são divididas em duas categorias: emissões (perdas) por respiração (diferenças de temperatura) e emissões (perdas) por trabalho (carregamento e descarregamento). As perdas de trabalho normalmente são as mais significativas, pois estes tanques têm uma movimentação semanal e toda a película de produto que fica aderida às paredes do tanque evapora, enriquecendo a atmosfera interna do tanque, e sendo eliminada nas aberturas de válvulas (U.S. EPA, 2006).

2.4.1 Fatores que influenciam na dispersão das emissões em tanques de armazenamento

Diversas são as características do ambiente que podem interferir ou influenciar quantitativamente nas emissões de poluentes do ar, o que pode dificultar a interpretação dos dados e a previsão dos acontecimentos.

Características como diâmetro, altura, volume vazio, tipo de teto, tipo de produto, temperatura e umidade do ambiente foram consideradas neste estudo. Porém, além destes fatores principais existem outros que não foram avaliadas, mas que também podem interferir na escolha do tipo de tanque a ser projetado.

Segundo Hort e Robbins (2002) a presença de construções próximas aos tanques permite uma grande influência no escoamento do vento e conseqüentemente na dispersão de emissão. Situações como esta frequentemente resultam em um

significativo aumento das concentrações de COV próximo ao nível do solo.

Para tanques isolados, Hort e Robbins (2002) verificaram que a concentração máxima ao nível do solo seria inversamente proporcional ao quadrado da altura (para uma altura e velocidades fixadas) e a presença de limitantes ao redor dos tanques, com alturas entre 10% e 25% da altura destes apresenta um impacto significativo no escoamento das emissões. A concentração máxima ao nível do solo foi reduzida em até três vezes em relação ao resultado obtido com tanques sem outros tanques na vizinhança. Também identificou-se que o aumento de grupos de tanques na vizinhança (de três ou quatro) não alterou significativamente o nível de concentrações encontrados na configuração com dois tanques.

Outro fator que pode ser considerado é a influência da velocidade do vento sobre tanques de teto flutuante externo. Pasley e Clarck (1999) identificou que quanto mais cheio o tanque se encontra, mais uniforme era a distribuição da velocidade do vento, e que tanques que operam, na maior parte do tempo com níveis mais baixos do que o projetado, tendem a ter uma maior perda por emissões fugitivas. Devido à ação do vento mais intensa sobre os bocais (respiros).

Para reduzir a emissão de produto, é comum a injeção de nitrogênio (inerte) ou aplicação de tetos flutuantes (externos ou internos), conforme será visto no próximo item.

2.4.2 Controle de Emissão em Tanques de Armazenamento

Existem diversas opções de métodos para controle de emissões fugitivas. O uso de tetos flutuantes é, usualmente, o mais comum e econômico método para controle de emissão em tanques de armazenamento. As características dos tetos flutuantes que mais interferem nas emissões são: modelo construtivo (soldado ou rebitado), vedações periféricas e quantidade de vedações internas, como bocais, mastros, pés de sustentação, dentre outros (MACHADO, 2009).

Os tanques pressurizados também são uma alternativa para o controle de emissão, porém os fatores que causam a emissão ainda não foram estudados e seu custo, normalmente, é mais alto (TELLES, 2007).

Da mesma forma, a injeção de gases inertes também pode proporcionar uma atmosfera seca sobre o líquido. Em um típico sistema com coletor de vapor, os vapores permanecem dentro do tanque até que a pressão atinge a um valor pré-determinado. Um sensor de pressão ativa sopradores que coletam e transportam os vapores até um sistema de ventilação que trata e libera os vapores (MCDONALD, 1992).

Técnicas complementares como incineradores ou condensadores também são métodos alternativos para o controle de emissão. Neste caso pode-se citar a condensação de vapores utilizada para armazenamento de solventes clorados, que causam problemas de corrosão em tetos flutuantes internos de alumínio (MCDONALD, 1992).

O foco deste estudo foi o uso de tetos flutuantes internos para o controle de emissões fugitivas. As características construtivas dos tanques atmosféricos e de seus diferentes tipos de tetos serão explorados a seguir.

2.5 CONCEITOS DE PROJETO PARA TANQUES DE ARMAZENAMENTO

As normas técnicas para os tanques foram baseadas no código ASME IX (2004), basicamente com instruções de soldagem. Com o crescimento da demanda de armazenamento, e com: os diferentes tipos de produtos armazenados, características construtivas e de montagem, o *American Petroleum Institute* (API), regimentou normas específicas para tanques de armazenamento.

As normas de projeto iniciaram com variantes do API-653 (2009), hoje utilizado praticamente apenas para manutenções e reformas em tanques de armazenamento; a API-620 (1998), para tanques semelhantes aos tanques de armazenamento, porém capazes de suportar uma pressão interna um pouco maior. Por fim, a API-650 (2010), que institui todas as características e metodologia para projeto, fabricação, montagem, inspeção e manutenção de tanques atmosféricos e seus componentes, sendo esta norma base para o desenvolvimento deste estudo.

O API-650 (2010) possui uma gama de apêndices para condições alternativas de construção, que vão desde pressão ou vácuo acima dos limites de corpo de norma,

tanques em aço inoxidável, tetos flutuantes internos, externos, geodésicos dentre outras situações específicas.

Normalmente entende-se por tanque de armazenamento padrão API-650 (2010) os tanques de fundo, teto e costado aplicáveis em temperaturas de até 93 °C (200 °F), pressões internas de até 0,363 kPa e vácuo de 0,25 kPa, sendo que valores acima deste limites devem obedecer os apêndices da norma.

Além das normas aplicáveis diretamente à construção e reforma de tanques, o API também prevê uma série de normas para acessórios aplicáveis aos tanques, como por exemplo o API-2000 (2009), que apresenta o dimensionamento para respiros dos tanques.

2.5.1 Tanques de Armazenamento

De forma geral, os tanques atmosféricos padrão API-650 (Figura 3) ou da norma nacional equivalente, NBR 7821 (ABNT, 1983) são divididos em grupos construtivos, com suas variantes abordadas do ponto de vista construtivo.



FIGURA 3 - TANQUES DE ARMAZENAMENTO ATMOSFERICOS E SEUS COMPONENTES
DOMO
FONTE: OLIVEIRA, 2011

O projeto dos tanques de armazenamento atmosféricos pode ser dividido, basicamente, em: fundo, costado, teto, estruturas metálicas e bocais (GUIZZE, 1989).

Além das diferentes variáveis de projeto, que vão desde dimensional, produto armazenado, condições de temperatura e pressão, material construtivo e outros, existem também condições para cada componente do tanque.


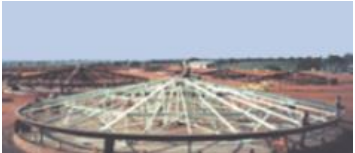
O fundo pode ser classificado por padrões de “chapas anulares” ou chapas retangulares, dependendo das características de soldagem ente fundo e costado, pois esta é a região mais frágil do tanque (MAIA e AURELIO, 2012; CONTEC 2010).

O costado possui diferentes métodos de cálculo de espessura de chapa: como o método mais tradicional *1-foot*; o método do ponto variável, o método do apêndice A e o método do apêndice S (LIMA et al., 2014; COSTA, 2011).

As estruturas metálicas, que normalmente são selecionadas de acordo com o padrão do cliente, devem observar as cargas mínimas de normas como a NBR 8800 (ABNT, 2007), bem como normas de segurança NR 18 (BRASIL, 1978).



Para os bocais, que em geral estão diretamente ligados ao padrão de operação do local onde o tanque está instalado, podem ter bocas de visita e portas de limpeza atendendo as quantidades mínimas requisitadas ou de acordo com padrão do cliente, sendo em geral defasados em 180° ao redor do tanque, para garantir fluxo de ar (BARROS, 2003).

Os diferentes tipos de teto, variam de acordo com as definições de projeto, produto armazenado e características locais. A influência da escolha no tipo de teto na composição do tanque gera consequências na eficiência do armazenamento durante a vida útil do equipamento (API-650, 2010). Os principais tipos de tetos (cônico autoportante, cônico suportado, domo autoportante, flutuante externo, flutuante interno e domo geodésico de alumínio) e suas características nas condições normais de temperatura e pressão estão apresentados no Quadro 3.

	Tipo de teto	Principais características	Vantagens na aplicação	Desvantagens na aplicação
a	 <p>Teto Cônico Autoportante</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Material conforme o tanque, de acordo com o produto armazenado (aço carbono ou aço inoxidável). - Usado normalmente em tanques de diâmetro até 15 m. - Suporta seu peso próprio e cargas aplicadas - Possuem declividade entre 9,5° à 37° (quanto maior a declividade, mais autoportante é o teto. Conseqüentemente menor a espessura necessária, - Espessura máxima de 12,7 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> - A inclinação garante ótimo escoamento de chuvas - Possui peso inferior em relação a tanques estruturados. - Para tanques com este tipo de teto, pode-se facilmente aplicar tetos flutuantes internos, para reduzir a perda de produto por emissão fugitiva. 	<ul style="list-style-type: none"> - Peso superior em relação ao teto domo autoportante. - Dificilmente aplicado à tanques acima de 15 m de diâmetro. - Quanto maior o tanque, mais difícil é a fabricação deste tipo de teto. - Não se indica executar solda fraca em sua periferia. - Necessita sempre de uma válvula de emergência para casos de incêndio.
b	 <p>Teto Cônico Suportado</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Material conforme o tanque, de acordo com o produto armazenado (aço carbono ou aço inoxidável). - Usado independente do diâmetro de tanque. - Por ser suportado, necessita de uma estrutura de sustentação, normalmente composta de uma coluna central (com ou sem colunas auxiliares) e vigas radiais. - Possuem declividade entre 3,5° a 9,5°. - Toda a carga do teto fica suportada pela estrutura. Assim pode se aplicar este tipo de teto a qualquer tamanho de tanque. - Espessura de chapa mínima de 4,75 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicável à qualquer tipo de tanque. - Espessura de chapa do teto fina (4,75 mm). 	<ul style="list-style-type: none"> - Normalmente mais pesado em relação aos tanques autoportantes (quando se podem aplicar os dois tipos, para o mesmo diâmetro). - Pode-se utilizar o recurso da solda fraca em sua periferia. Assim o teto todo funciona como um “fusível” no caso de uma sobre pressão de emergência. - Exige um estudo de engenharia mais complexo, em seu projeto quando comparado aos tetos autoportantes. - Exige uma montagem mais demorada e detalhada quando comparado aos tetos autoportantes.



QUADRO 3 - TIPOS DE TETOS PARA TANQUES DE ARMAZENAMENTO ATMOSFÉRIOCO (CONTINUA)

FONTE: FOTOS: OLIVEIRA, 2011; VETOR-MATHIAS, 2014

	Tipo de teto	Principais características	Vantagens na aplicação	Desvantagens na aplicação
c	 <p>Teto Domo Autoportante</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Material conforme o tanque, de acordo com o produto armazenado (aço carbono ou aço inoxidável). - Usado normalmente em tanques de diâmetro até 30 m. - Suporta seu peso próprio e cargas aplicadas à ele. - Possuem raio entre 0,8 a 1,2 vezes o diâmetro do tanque - Espessura máxima de 12,7 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> - A inclinação garante o escoamento de chuvas. - Normalmente possui a melhor relação entre peso e diâmetro quando comparado aos demais tetos de aço carbono ou aço inoxidável. - Para tanques com este tipo de teto, pode-se facilmente usar tetos flutuantes internos, para reduzir a perda de produto. - Fácil fabricação e montagem independente de seu tamanho. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificilmente usado em tanques acima de 20 m de diâmetro. - Por ser um teto mais robusto, não se indica executar solda fraca em sua periferia. - Necessita sempre de uma válvula de emergência para casos de incêndio.
d	 <p>Teto Flutuante Externo</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Material, normalmente, em aço carbono. - Normalmente aplicado em tanques de grandes diâmetros (30 a 90 m de diâmetro). - Usado em tanques com produto muito volátil, com intenção de reduzir perdas por emissão fugitiva. - Tipo de teto que exige as maiores análises em termos de engenharia de projeto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Escoamento de chuvas por dreno interno. - Vedação periférica a partir do chamado selo tipo PW (chapas de alumínio que funcionam como molas, pressionando o costado do tanque), reduzindo perdas por emissão fugitiva - Aplicável à qualquer diâmetro. - O selo PW funciona também como dispositivo contra emergência, abrindo-se em casos de sobre pressão. 	<ul style="list-style-type: none"> - O escoamento das chuvas é feito por um sistema de drenagem interno, por mangueira ou dreno articulado (que comumente apresenta necessidade de manutenção). - Necessita escadas articuladas para acesso. - Alta complexidade no projeto, fabricação, montagem e até mesmo comissionamento.

QUADRO 3 - TIPOS DE TETOS PARA TANQUES DE ARMAZENAMENTO ATMOSFÉRICO (CONTINUA)

FONTES: FOTOS: OLIVEIRA, 2011; VETOR-MATHIAS, 2014

	Tipo de teto	Principais características	Vantagens na aplicação	Desvantagens na aplicação
e	 <p>Teto Flutuante Interno</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Teto normalmente em alumínio, - Foi inicialmente criado como um acessório (apêndice H da API-650) e hoje é um tipo de teto cada vez mais aplicado, sempre em conjunto com tetos fixos (cônico ou domo). - Usado em qualquer diâmetro de tanque. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil fabricação e instalação em qualquer tipo de teto fixo. - Redução significativa nas emissões (até 95%). - Redução no impacto ambiental. - Normalmente sua implantação apresenta a melhor relação entre custo e benefício em relação aos tanques sem sua aplicação, ao se levar em conta as reduções de perdas por emissão fugitiva. 	<ul style="list-style-type: none"> - Não pode ser aplicado sem um teto fixo. - Necessita de equipe especializada para montagem.
f	 <p>Domo Geodésico de Alumínio</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Teto em alumínio - Foi inicialmente criado como um acessório (apêndice G da API-650) e hoje é o tipo de teto preferencial para diâmetros acima de 30 metros, porém também aplicável a tanques de menor diâmetro. - Em conjunto com o teto flutuante interno, tem gradativamente substituindo os tetos flutuantes externos, com custo benefício maior. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil fabricação e montagem - Menor manutenção quando comparado à um teto flutuante externo. - Como normalmente é aplicado à tetos de grandes diâmetros, tem instalação muito mais fácil em relação aos tetos suportados ou flutuantes externos. - Não necessita de pintura - O alumínio funciona como reflexivo, diminuindo a temperatura interna do tanque durante o dia. 	<ul style="list-style-type: none"> - Custo inicial muito próximo ao de um teto fixo em aço carbono. - Necessita de equipe especializada para montagem.

QUADRO 3 - Tipos de tetos para tanques de armazenamento atmosférico (CONCLUSÃO)

FONTES: FOTOS: Oliveira, 2011; TEXTO: VETOR-MATHIAS, 2014

2.5.2 Tetos flutuantes externos e internos

Os tetos flutuantes externos apresentados na Figura 4 são estruturas metálicas equipadas com flutuadores, normalmente grandes compartimentos perimetrais, dotados de bocas para inspeção, providos de elementos de selagem para pontos móveis, como por exemplo, selos do tipo PW para vedação periférica, capazes de flutuar sobre o líquido e reduzir a atmosfera interna do tanque (PETROBRÁS, 2002a; PETROBRÁS, 2002b).

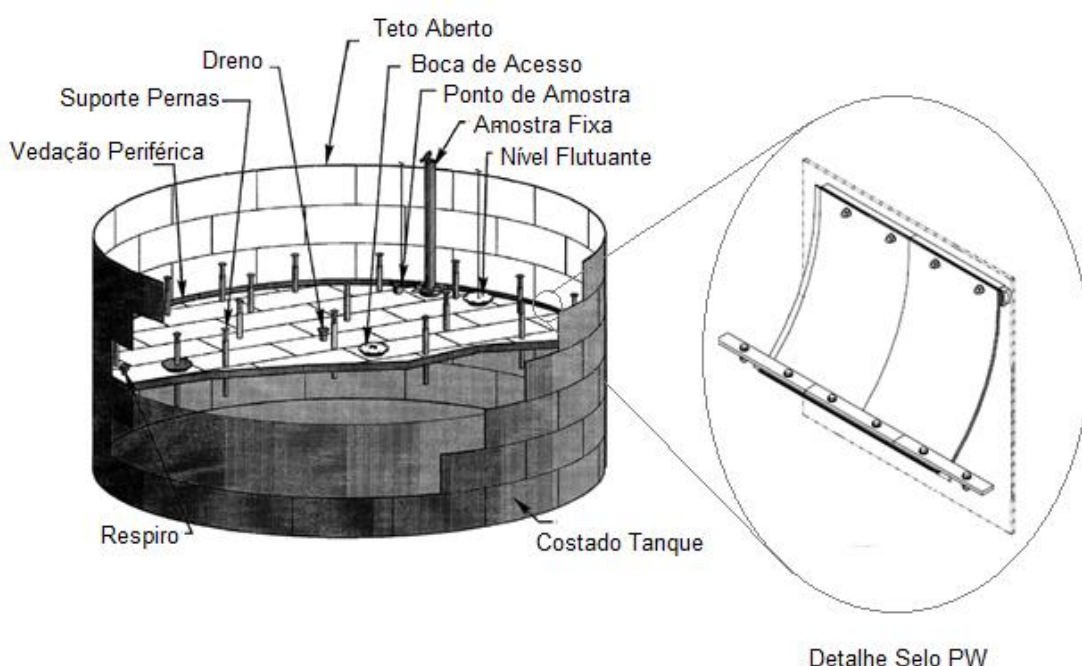


FIGURA 4 - TETO FLUTUANTE EXTERNO E DETALHE DO SELO PW
 FONTES: ADAPTADO DE PASLEY e CLARCK, 1999; PETROBRÁS, 2002A

Suas características são previstas no apêndice C da norma API-650 (2010) e seu modelo construtivo foi amplamente utilizado no Brasil até o final da década de 1980, sendo gradativamente substituídos por tetos geodésicos montados com tetos flutuantes internos, ambos em alumínio, conforme apêndice G da mesma norma.

Isto ocorreu, principalmente, pela alta complexidade dos projetos de tetos flutuantes externos, além de seu alto custo por conta do peso e grande dificuldade na montagem e manutenção.

Outro fator complicador nos tetos flutuantes externos está no fato de

possuírem componentes que necessitam atravessar o teto flutuante externo (por exemplo: tubulações para instrumentos como radares) que ou eram constituídos de qualquer tipo de articulação (por exemplo: drenos articulados) ou precisavam de garantia contra a energia estática gerada pelo atrito dos componentes, pelo perigo de incêndio. Estes componentes promovem pontos de emissão fugitiva, pois a vedação sempre possui um fator de perda (VILLAS-BÔAS, 2003).

Além disso, o teto flutuante externo possui uma construção mecânica complexa e exige, por questões de segurança, uma passarela periférica ao redor de todo o tanque, bem como uma escada articulada a qual deve possuir flutuadores os quais devem ser dimensionados de acordo com sua distribuição de carga acompanhando os estágios de enchimento (VILLAS-BÔAS, 2003).

Outro motivo que reduziu o uso de tetos flutuantes externos foi de que, apesar de se reduzir o volume da atmosfera interna do tanque, o produto estava em contato direto com a chaparia do teto, aquecido pela incidência do sol. Isto ocasionava um aumento de temperatura interna e conseqüentemente um maior percentual de evaporação do produto. Este fator, apesar de poder ser reduzido com a pintura, quando combinado a velocidade de vento local, acaba proporcionando uma condição onde a diferença de pressão age retirando os vapores formados internamente, aumentando a perda de produto por emissões fugitivas (BARROS, 2003).

Segundo Martins (2004), a aplicação de tetos flutuantes externos em comparação à tetos fixos proporciona uma redução nas emissões em média de 48%, dependendo das condições de aplicação. Porém, ao final da década de 1980, uma nova solução em tanques passou a ser adotada: o uso de tetos flutuantes internos.

A aplicação de tetos flutuantes internos, de acordo com o apêndice H do API-650 (2010), passou a ser uma alternativa mais prática em termos de projeto, fabricação, montagem e custos (LIMA et al., 2014).

Nos tetos flutuantes internos, os flutuadores não são grandes compartimentos periféricos, e sim tubos, normalmente de alumínio (segundo padrão do teto), como mostra a Figura 5. O dimensionamento dos flutuadores prevê um enchimento de metade destes e ainda garante a flutuação do teto. Porém, como o peso deste teto é muito menor, o dimensionamento dos flutuadores também requisita um volume muito inferior em comparação aos tetos flutuantes externos (VILLAS-BÔAS, 2003).

As vedações periféricas do costado também são muito mais simples. Em lugar

do selo PW, utilizam-se pequenas chapas de nylon ou outro polímero compatível com o produto armazenado, dobradas sobre si mesmo (Figura 5). Em casos onde o costado do tanque está com dimensões muito irregulares, pode-se facilmente duplicar este conjunto de vedação, melhorando o desempenho do teto.

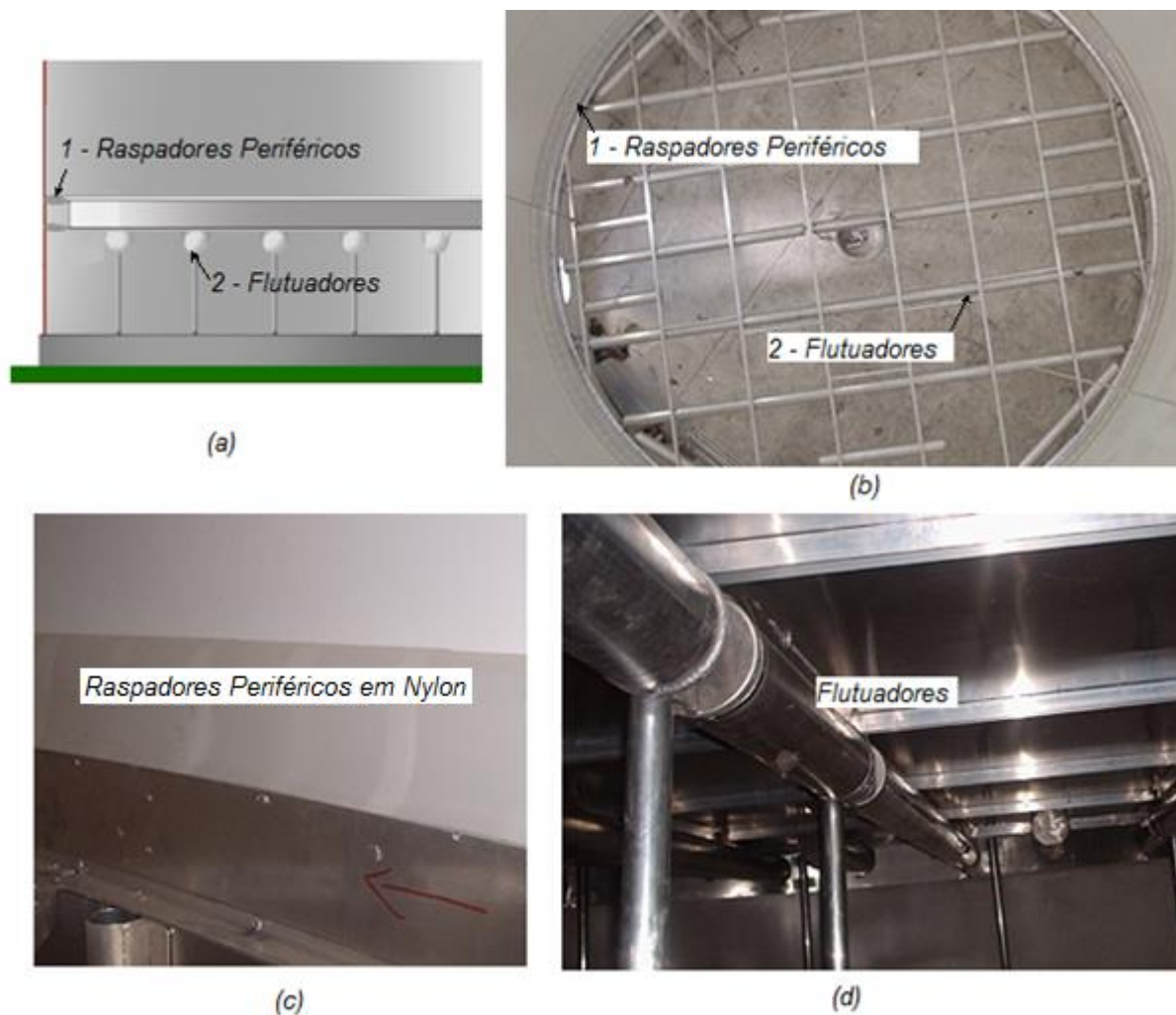


FIGURA 5 - ANEL DE VEDAÇÃO PERIFÉRICO E FLUTUADORES EM TETO FLUTUANTE INTERNO

(a) Orientação de anéis raspadores e flutuadores – vista lateral; (b) Posicionamento de anéis raspadores e flutuadores em teto flutuante em montagem – vista superior; (c) Raspadores; (d) Flutuadores em teto flutuante montado.

FONTE: VETOR-MATHIAS, 2015

Outra vantagem dos tetos flutuantes internos é a possibilidade de fixação não somente por pés, mas também por cabos fixos ao topo do teto fixo (Figura 6), permitindo que o teto flutuante siga a altura do fluido mesmo abaixo da medida comum para pés, em torno de 1,5 m (API-650, 2010).



FIGURA 6 - DETALHES DE SUSTENTAÇÃO DE TETO FLUTUANTE INTERNO POR CABOS E POR PÉS
FONTE: VETOR-MATHIAS, 2015

Com isso, ao final da década de 1980, a decisão de instalação de tetos flutuantes externos perde força, porém a execução de tetos fixos segue gerando um alto custo, pela necessidade de estruturas internas, pois isto dificulta a instalação de tetos flutuantes internos (U.S. EPA, 2006).

Na Figura 7 é possível identificar os pontos de vedação e consequente perda de produto armazenado pelos tetos flutuantes internos montados sob tetos fixos sustentados por estrutura metálica.



FIGURA 7 - INTERFERÊNCIAS DE TUBULAÇÕES NO TETO FLUTUANTE INTERNO
FONTE: VETOR-MATHIAS; 2015

A aplicação de elementos vedantes é eficiente e segura, evitando faíscas proporcionadas por atrito na parte interna do tanque. A instalação do teto flutuante interno, atualmente é a solução de menor complexidade de projeto, fabricação, montagem e manutenção. Para a redução nas emissões, tem se tornado comum a

utilização deste tipo de teto em conjunto com tetos fixos do tipo domo geodésico.

A utilização de tetos fixos do tipo domo geodésico em conjunto com os tetos flutuantes internos passou a ter significativa aplicação de campo em meados da década de 1990 até os dias de hoje (LIMA et al., 2014).

A grande vantagem desta configuração é a facilidade na fabricação e montagem, ambos sempre em blocos estruturais pré-montados, além do fato do teto geodésico também ser autoportante, eliminando o inconveniente de emissões fugitivas por conta de colunas fixas de sustentação do teto (Figura 8).

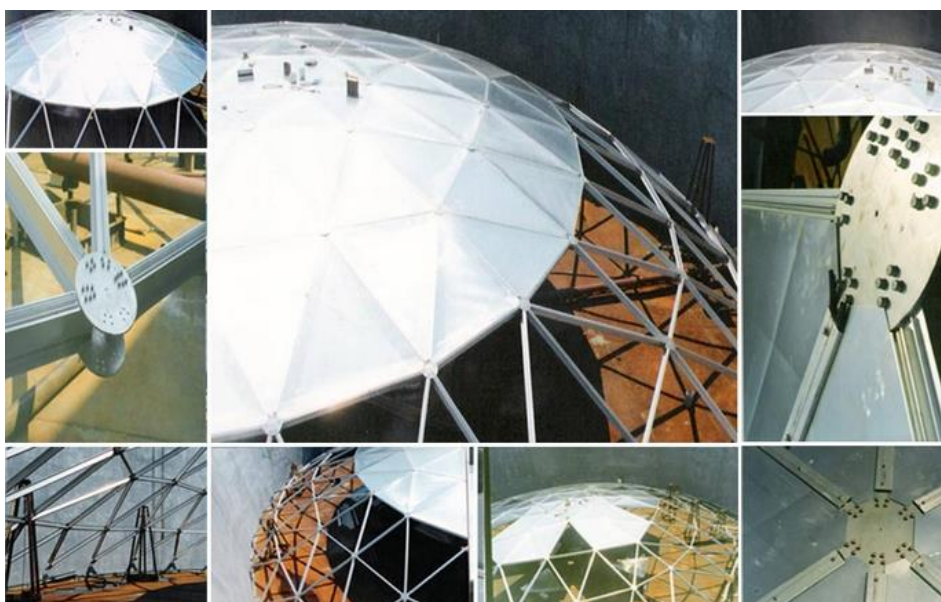


FIGURA 8 - MONTAGEM DE TETOS FIXOS GEODÉSICOS
FONTE: OLIVEIRA, 2012

2.6 MODELAGENS MATEMÁTICAS PARA EMISSÃO EM TANQUES DE ARMAZENAMENTO ATMOSFÉRICOS

As emissões fugitivas em tanques dependem de diversos fatores (produto armazenado, geometria do tanque, condições do tempo local, número de movimentações), que devem ser levadas em conta no momento do projeto. Porém a aplicação de tetos fixos em conjunto com tetos flutuantes internos apresenta reduções de 60 a 99% de emissão em relação aos tanques sem a aplicação do teto flutuante interno (JORDAN et al., 1990).

As emissões de compostos orgânicos são função de uma série de parâmetros, os quais são utilizados na metodologia de cálculo do U.S. EPA AP-42, seção 7.1. Esta metodologia é a base de cálculo do *software* TANKS 4.09d, utilizado neste trabalho.

Para esta metodologia são considerados os seguintes parâmetros: tamanho e tipo do tanque, temperatura de evaporação do produto armazenado, condições atmosféricas do local do tanque e seu tipo de teto, ou seja, teto fixo, teto flutuante interno ou teto flutuante externo (MCDONALD, 1992).

Existem outras metodologias de cálculo de emissões, podendo-se citar a metodologia de cálculos de ventilação e emergência, apresentados no API-2000 (2009). Porém, trata-se de um método focado no dimensionamento dos respiros, sem o foco no produto armazenado. Por estes motivos, optou-se neste estudo utilizar o método apresentado no AP-42 Seção 7.1.

De acordo com U.S. EPA AP-42, seção 7.1 (U.S. EPA, 2006) as perdas por emissões fugitivas são determinadas para cada tipo de teto. Para auxiliar na elaboração deste cálculo, a U.S. EPA disponibiliza um *software* gratuito, o TANKS 4.09d, cujas demonstrações dos cálculos serão apresentadas no item 3.2.1

Outros *softwares* baseados na mesma metodologia do AP-42 Seção 7.1, como o *Emission Master 8*® (2015), distribuído pela Mitchell Scientific® (MITCHELL SCIENTIFIC, 2007) , porém optou-se por utilizar o *software* TANKS 4.09d pela facilidade no gerenciamento de entrada e saída de informações, além do fato do *software Emission Master 8*® ser pago.

2.7 IMPACTOS FINANCEIROS NA APLICAÇÃO DE TETOS FLUTUANTES INTERNOS

A aplicação de tetos flutuantes internos é normalmente vista pelos investidores e proprietários de tanque apenas como uma ferramenta de redução de emissões, com objetivo unicamente ambiental, implicação direta em custos e sem benefícios no processo de armazenagem (SRIVASTAVA et al., 2010)

Porém, a aplicação de tetos flutuantes internos pode trazer benefícios diretos com a economia do produto evaporado e indiretos, reduzindo o risco de explosões em

uma situação de incêndio (JONES e TREESE, 2015).

A partir de um levantamento dos custos de aplicação (projeto, fabricação e montagem) e manutenção dos tetos flutuantes internos, bem como das economias geradas pela redução de emissões de produto, é possível apresentar uma análise mais abrangente, discriminando o custo-benefício da aplicação de teto flutuante interno (MOSALEEYANONT e VIVANPATARAKIJ, 2014), apresentados nos itens 3.3.3, 3.3.4 e 4.3.5.

3 METODOLOGIA

3.1 MAPEAMENTO DE ATIVIDADES

Para organizar o método utilizado neste trabalho, foi proposto um encadeamento de atividades de acordo com o Quadro 4: abordando primeiramente as simulações no *software*, seguido de uma proposta para desenvolvimento de modelo matemático e comparação com ensaios em protótipos, cada qual formado pelos subitens relacionados.

3. METODOLOGIA	3.2 Simulações em <i>Software</i>		3.3. Modelamento Matemático		3.4. Ensaio em Protótipos	
	3.2.1	Apresentação do <i>Software TANKS 4.09d</i>	3.3.1	Desenvolvimento de modelo matemático para comparação de redução de emissão para tanques com e sem teto flutuante interno.	3.4.1	Considerações para trabalhos em escala
	3.2.2	Premissas e dados de alimentação do <i>software</i>	3.3.2	Limites de aplicação e tolerância do modelo matemático proposto para redução de emissão	3.4.2	Variáveis de contorno para aplicação do ensaio
	3.2.3	Determinação de variáveis de análise	3.3.3	Desenvolvimento de modelo matemático para avaliação financeira da aplicabilidade de tetos flutuantes internos.	3.4.3	Elaboração de cenários para os ensaios
	3.2.4	Cenários simulados	3.3.4	Limites de aplicação e tolerância do modelo matemático proposto para avaliação financeira	3.4.4	Limitações dos ensaios e comparação com os modelos matemáticos
	3.2.5	Perdas por emissão percentuais				

QUADRO 4 - MAPEAMENTO DAS ATIVIDADES REALIZADAS

FONTE: O Autor (2015)

3.2 SIMULAÇÕES EM *SOFTWARE*

Para tanques de armazenamento atmosféricos existe uma relação direta entre a evaporação dos produtos armazenados e suas emissões, de acordo com a metodologia da U.S. EPA apresentada na seção 7.1 do

documento AP-42 (2006) (MCDONALD, 1992).

Para tanto, foram realizadas simulações (item 3.2.1) utilizando o *software* TANKS 4.09d (U.S. EPA, 2006) para determinação de perdas por emissões fugitivas (evaporação), para que o proprietário ou gerenciador de um parque de armazenamento possa avaliar percentualmente as vantagens ou desvantagens (em termos de perda de produto) da aplicação de um teto flutuante interno.

O *software* TANKS, versão 4.09d, gratuitamente distribuído no *site* da U.S. EPA (1999). Tem a finalidade de facilitar a obtenção de dados de emissão para diferentes condições de armazenamento em tanques atmosféricos e utiliza a metodologia de cálculo da U.S. EPA, apresentada a seguir:

Para a montagem de cenários de simulação (item 3.2.4), organização e agrupamento de resultados (item 3.2.5), foram estabelecidas premissas e determinadas as variáveis de análise, conforme apresentado nos itens 3.2.3 e 3.2.4.

De forma geral, foram realizadas as variações em: volume, características dimensionais (diâmetro e altura), condições de enchimento, ou seja, a altura de produto no tanque (volume máximo e intermediário); tipo de produto armazenado (álcool, gasolina, óleo cru e querosene de aviação) e tipo de teto aplicado (tetos fixos tipo cônico e domo, com ou sem teto flutuante interno).

As simulações foram realizadas com o objetivo de se obter as seguintes informações:

- a) Relação de perda por emissão entre tetos fixos (cônico e domo) para diferentes dimensões de tanque e produto armazenado.
- b) Relação de perda por emissão entre os tetos fixos com e sem teto flutuante interno.
- c) A influência das perdas por emissão analisando os seguintes parâmetros: volume de produto armazenado, volume vazio (ou morto), perdas superficiais, tipo de produto e número de ciclos.

3.2.1 Metodologia de cálculo aplicada no software *Tanks* 4.09d

O software *Tanks* 4.09d tem sua base de cálculo referenciada na seção 7.1 do documento AP-42, da U.S.EPA (2006). Dentre outros cálculos que o software disponibiliza, destacamos a métrica utilizada para os principais pontos de interesse para este trabalho: cálculo de emissão em tanques de teto fixo, teto flutuante externo e teto flutuante interno.

3.2.1.1 Cálculo de emissão em tanques com teto fixo

A equação geral utilizada pelo documento AP-42 (U.S. EPA, 2006) para tanques cilíndricos, verticais, não isolados, trabalhando sobre pressão atmosférica e com teto fixo, que é a grande maioria dos tanques atmosféricos padrão API-650, é dada pela Equação 1. As equações apresentadas neste item manterão as unidades de sua literatura original (U.S. EPA, 2006).

$$L_T = L_S + L_W \quad (1)$$

Sendo L_T a perda total (lb/ano); L_S a perda por respiração (lb/ano) relacionada às diferenças de temperatura que fazem com que o volume do tanque varie e L_W a perda por trabalho (lb/ano) devido às operações de enchimento e esvaziamento do tanque (perdas no filme das paredes).

A perda por respiração é descrita pela Equação 2.

$$L_S = 2,26 \times 10^{-2} M_V \times \left[\frac{P}{P_A - P} \right]^{0,68} \times D^{1,73} \times h'^{0,51} \times \Delta T^{0,50} \times F_P \times C \times K_C \quad (2)$$

Sendo M_V a massa molecular do vapor do produto armazenado (lb/lbmol); P a pressão de vapor na condição do líquido armazenado (psia); P_A a pressão atmosférica média na localização do tanque (psia); D o diâmetro do tanque (ft); h' a altura média de

espaço ocupado pelo vapor (ft), ΔT a média da variação de temperatura ($^{\circ}\text{F}$); F_p o fator de pintura (adimensional) dado pela Tabela 1; C um fator de ajuste dimensional para pequenos tanques (adimensional) e K_c o fator de produto (adimensional).

TABELA 1 - FATOR DE PINTURA PARA TANQUES DE TETO FIXO

Cor do Tanque		Fator de Pintura (F_p) Condição da Pintura	
Teto	Costado	Boa	Ruim
Branco	Branco	1,00	1,15
Alumínio Brilhante	Branco	1,04	1,18
Branco	Alumínio Brilhante	1,16	1,24
Alumínio Brilhante	Alumínio Brilhante	1,20	1,29
Branco	Alumínio Opaco	1,30	1,38
Alumínio Opaco	Alumínio Opaco	1,29	1,46
Branco	Cinza	1,30	1,38
Cinza Brilhante	Cinza Brilhante	1,33	1,44
Cinza Opaco	Cinza Opaco	1,40	1,58

FONTE: ADAPTADO DE MCDONALD (1992)

O valor P , ou seja, a pressão de vapor dos líquidos orgânicos é determinado na temperatura de armazenamento do líquido (T_s), que pode ser encontrada conhecendo a temperatura média ambiente e a cor do tanque. O Quadro 5 apresenta os valores de T_s em função da temperatura ambiente e da cor do tanque.

Cor do tanque	Temperatura de armazenamento média anual (T_s)
Branco	T_A
Alumínio	$T_A + 2,5$
Cinza	$T_A + 3,5$
Preto	$T_A + 5,0$

QUADRO 5 - TEMPERATURA MÉDIA ANUAL EM FUNÇÃO DA COR DO TANQUE

NOTA: T_A = TEMPERATURA MÉDIA ANUAL LOCAL ($^{\circ}\text{F}$)

FONTE: ADAPTADO DE MCDONALD (1992)

Caso a altura de espaço ocupado pelo vapor (h') não esteja disponível, pode-se assumir como metade da altura total do costado do tanque.

Para o fator de correção para pequenos tanques (C) devem ser adotados os seguintes critérios:

- a) Tanques com diâmetro acima de 30 ft, $C = 1,0$.
 b) Tanques com diâmetro abaixo de 30 ft a Equação 3 deve ser utilizada.

$$C = 0,0771D - 0,0013D^2 - 0,1334 \quad (3)$$

O valor do fator de produto (K_c) para óleo bruto é de $K_c = 0,4$. Para todos os demais líquidos orgânicos o valor 1,0 pode ser adotado.

A perda por trabalho é estimada com a Equação 4.

$$L_W = 2,40 \times 10^{-5} M_v \times P \times V \times N \times K_N \times K_c \quad (4)$$

Onde V é a capacidade volumétrica do tanque (gal); N o número de operações de enchimento/esvaziamento no ano (adimensional) e K_n é o fator de movimentação (adimensional).

O valor do número de operações (N) é obtido pela Equação 5.

$$N = \frac{\text{Volume total movimentado no ano (gal)}}{\text{Capacidade volumétrica do tanque (gal)}} \quad (5)$$

Para determinar o fator de movimentação (K_N) os seguintes critérios devem ser adotados:

- para $N \leq 36$ adota-se $K_N = 1$.
- para $N > 36$ a Equação 6 deve ser adotada.

$$K_N = (180 + N) / (6N) \quad (6)$$

3.2.1.2 Cálculo de emissão em tanques com teto flutuante externo

As emissões de tanques com teto flutuantes externos são as somas das perdas nas vedações periféricas, movimentações (enchimentos e esvaziamentos) e perdas devido às suas características construtivas, como: flutuadores, vedações em bocais,

dispositivos de sustentação, dentre outros (U.S. EPA, 2006). A Figura 9 ilustra três tetos flutuantes externos categorizados por seus modelos de flutuadores.

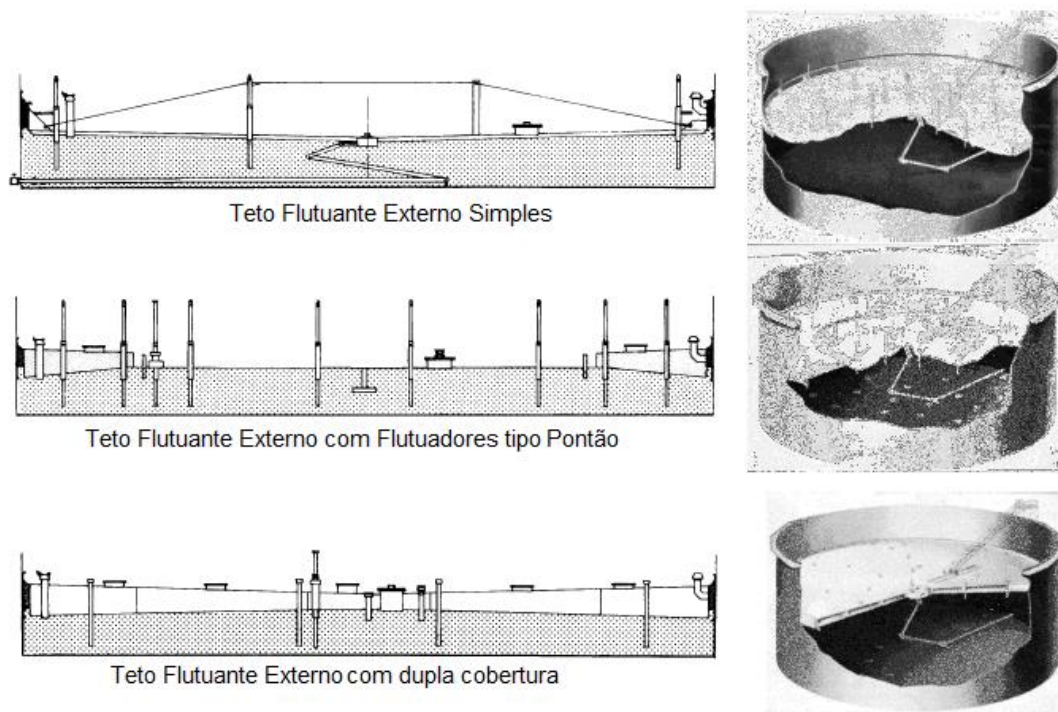


FIGURA 9 - TIPOS DE TETO FLUTUANTE EXTERNO – QUANTO AOS FLUTUADORES
 FONTE: ADAPTADO DE BARROS (2003)

Os tetos flutuantes externos não possuem perdas em sua chaparia ou em seus flutuadores, pois os mesmos são soldados e estanques (BARROS, 2003).

De forma geral, tomadas as devidas precauções apresentadas na norma U.S.EPA AP-42, seção 7.1, a equação geral para teto flutuante externo é dada pela Equação 7 (MCDONALD, 1992).

$$L_T = L_R + L_{WD} + L_{RF} \quad (7)$$

Sendo L_T a perda total (lb/ano); L_R a perda no anel periférico de vedação (lb/ano) e determinado pela Equação 8; L_{WD} a perda por trabalho (lb/ano) ligado à operações de enchimento e esvaziamento do tanque (perdas no filme das paredes) e determinado pela Equação 10 e L_{RF} a perda pela vedação de componentes (lb/ano), como por exemplo as bocas de visita, bocais para equipamentos, bocais de inspeção dos flutuadores, manutenção dos suportes (pés), dentre outros, determinado pela Equação 11.

A perda no anel periférico de vedação (L_R) é dada pela Equação 8:

$$L_R = K_S \times v^z \times P^* \times D \times M_V \times K_C \quad (8)$$

Onde K_S é o fator de eficiência da vedação do anel periférico (adimensional) e determinado na Tabela 2, v é velocidade do vento no local do tanque (mph). Caso esta informação não esteja disponível, pode ser utilizada a velocidade do vento mais próximo ao local obtido na norma NBR 6123 (ABNT, 1988) – Força devido ao vento em edificações.

O valor adimensional do expoente z é apresentado na Tabela 2 e o valor de P^* é determinado pela Equação 9.

$$P^* = \frac{\frac{P}{P_A}}{\left[1 + \left[1 - \frac{P}{P_A}\right]^{0,5}\right]^2} \quad (9)$$

As perdas de trabalho (L_{WD}) decorrente de operações de enchimento e esvaziamento de tanques com teto flutuante externo ou interno podem ser estimadas a partir da Equação 10:

$$L_{WD} = \frac{(0,943) \times Q \times C_F \times W_L}{D} \times \left[1 + \frac{N_C \times F_C}{D}\right] \quad (10)$$

Sendo Q a movimentação anual (barril/ano); C_F o fator de aderência do costado (barril/1000 ft²) apresentado na Tabela 3 e W_L a massa específica do líquido (lb/gal).

A quantidade de colunas N_C (adimensional) pode ser estimada para tanques com teto flutuante externo ou tanques com teto fixo como $N_C = 0$; para tanques com teto flutuante interno, utiliza-se a condição de projeto ou estima-se de acordo com a Tabela 4.

TABELA 2 - FATORES DE PERDA EM VEDAÇÃO DE TETOS FLUTUANTES (CONTINUA)

FATORES DE PERDA EM VEDAÇÃO ¹	Selos com Vedação em Ajuste Médio		Selos com Vedação em Ajuste Apertado ²	
	$\frac{K_s}{(mph)^n . pé.ano}$	z Adimensional	$\frac{K_s}{(mph)^n . pé.ano}$	z Adimensional
Tipo Construtivo de Tanque e Sistema de Anel de Vedação				
Teto flutuante externo soldado				
A - Selo mecânico				
a) Selo mecânico primário (anel de vedação)	1,2 ³	1,5 ³	0,8	1,6
b) Selo mecânico secundário (aneis de vedação)	0,8	1,2	0,8	1,1
c) Aro de vedação (selo tipo PW)	0,2	1,0	0,2	0,9
B - Selo montado sobre camada líquida resistente				
a) Selo mecânico primário (anel de vedação)	1,1	1,0	0,5	1,1
b) Selo mecânico secundário (aneis de vedação)	0,8	0,9	0,5	1,0
c) Aro de vedação (selo tipo PW)	0,7	0,4	0,5	0,5
C - Selo montado sobre camada de vapor resistente				
a) Selo mecânico primário (anel de vedação)	1,2	2,3	1	1,7
b) Selo mecânico secundário (aneis de vedação)	0,9	2,2	1,1	1,6
c) Aro de vedação (selo tipo PW)	0,2	2,6	0,4	1,5
Teto flutuante externo rebitado				
D - Selo mecânico				
a) Selo mecânico primário (anel de vedação)	1,3	1,5	4	4
b) Selo mecânico secundário (aneis de vedação)	1,4	1,2	4	4
c) Aro de vedação (selo tipo PW)	0,2	1,6	4	4

FONTE: ADAPTADO DE MCDONALD (1992)

NOTAS:

1 – Os fatores de perda (K_s e n) podem ser utilizados para velocidades do vento de 2 a 15 mph (ou 3 a 24 km/h)

2 – Sem espaçamentos maiores que um oitavo de polegada (3,2 mm) entre o costado do tanque e anel de vedação. A consistência de anéis de ajuste apertado não é usual e de difícil verificação

3 – Caso não existam mais informações disponíveis, a configuração de teto soldado, com vedação em ajuste médio e vedação primária pode ser assumida por ser a mais comum e típica instalação de teto flutuante externo.

4 – Não há informações disponíveis para tetos flutuantes externos, rebitados com uma vedação de ajuste apertado consistente.

TABELA 2 - FATORES DE PERDA DE VEDAÇÃO EM TETOS FLUTUANTES (CONCLUSÃO)

FATORES DE PERDA EM VEDAÇÃO ¹	Selos com Vedação em Ajuste Médio		Selos com Vedação em Ajuste Apertado ²	
	$\frac{K_s}{(mph)^n} \cdot pé.ano$	z Adimensional	$\frac{K_s}{(mph)^n} \cdot pé.ano$	z Adimensional
Teto flutuante interno rebitado⁵				
<i>E - Selo montado sobre camada líquida resistente</i>				
a) Selo mecânico primário (anel de vedação)	3,0	0,0	2,6	0,0
b) Selo secundário com aro de vedação	1,6	0,0	1,2	0,0
<i>F - Selo montado sobre camada vapor resistente</i>				
a) Selo mecânico primário (anel de vedação)	6,7 ⁶	0,0	5,6	0,0
b) Selo secundário com aro de vedação	2,5	0,0	2,3	0,0

FONTE: ADAPTADO DE MCDONALD (1992)

NOTAS:

5 – Baseado em emissão de tanques com um sistema razoavelmente bom de condição de trabalho, sem furações visíveis, rasgos largos ou espaçamentos entre vedação e costado do tanque

6 – Caso não existam mais informações disponíveis, a configuração de teto rebitado, montado sobre camada resistente de vapor pode ser assumida por ser a mais comum e típica instalação de teto flutuante interno.

TABELA 3 - FATOR DE ADERÊNCIA NO COSTADO

Fator de Aderência no Costado (C_F) - Adimensional			
Líquido	Condições do Costado		
	Levemente Enferrujado	Densamente Enferrujado	Concreto
Gasolina	0,0015	0,0075	0,1500
Armazenagem de Compostos Simples	0,0015	0,0075	0,1500
Óleo Cru	0,0060	0,0300	0,6000

FONTE: ADAPTADO DE MCDONALD (1992)

TABELA 4 - NÚMERO TÍPICO DE COLUNAS DE TETOS FIXOS PARA TANQUES COM TETO FLUTUANTE INTERNO

Faixa de Diâmetros do tanque D (m)	Número típico de colunas
$0 < D \leq 26$	1
$26 < D \leq 30$	6
$30 < D \leq 37$	7
$37 < D \leq 41$	8
$41 < D \leq 46$	9
$46 < D \leq 52$	16
$52 < D \leq 58$	19
$58 < D \leq 67$	22
$67 < D \leq 72$	31
$72 < D \leq 82$	37
$82 < D \leq 84$	43
$84 < D \leq 88$	49
$88 < D \leq 101$	61
$101 < D \leq 110$	71
$110 < D \leq 122$	81

FONTE: ADAPTADO DE MCDONALD (1992)

A Tabela 4 é uma estimativa utilizada por fabricantes de teto. O dimensionamento correto de colunas de sustentação do teto fixo varia muito de acordo com o tipo do teto fixo utilizado, as cargas sobre o teto e as premissas de projeto. Os dados da tabela não devem substituir as condições de cálculo reais do tanque.

O fator de colunas de sustentação (F_C) é admissional e, para tanques com teto flutuante interno com teto fixo suportado por colunas, pode se utilizar o diâmetro específico apresentado em projeto, ou, como estimativa:

- $F_C = 1,1$: colunas de perfis conjuntos de 7" a 9" de diâmetro equivalente;
- $F_C = 0,8$ para colunas tubulares, de até 8" de diâmetro equivalente;
- $F_C = 1,0$ para colunas cujos detalhes construtivos não são conhecidos.

As perdas nas vedações (L_{RF}) de componentes como bocas de visita, bocais para equipamentos, bocais de inspeção dos flutuadores, manutenção dos suportes (pés), dentre outros, em tetos flutuantes externos podem ser estimadas a partir da Equação 11.

$$L_{RF} = F_F \times P^* \times M_V \times K_C \quad (11)$$

Com F_F sendo o fator de perda total nas vedações dos componentes em (lbmol/ano) e calculado a partir da Equação 12:

$$F_F = \sum N_{Fi} \times K_{Fi} \quad (12)$$

Com N_{Fi} é o número de bocais de inspeção em flutuadores ($i = 0,1,2...n$), sendo obtido na Tabela 9. K_{Fi} o fator de perda de bocais do teto (lbmol/ano), e é determinado pela Equação 13. E, n é número total dos diferentes tipos de bocal.

$$K_{Fi} = K_{fai} + K_{fbi} \times v^{mi} \quad (13)$$

Sendo K_{fai} o fator de perda para um tipo particular de bocal de teto [lbmol/ano], K_{fbi} o fator de perda para o tipo particular de bocal de teto [lbmol/ano], e m_i o fator de perda para o tipo particular de bocal de teto, todos apresentados na Tabela 5.

O número de cada tipo de bocal de teto pode variar significativamente de acordo com o tipo de tanque e deve ser determinado para cada projeto. Se não existirem informações específicas, as Tabelas 5, 6 e 7, com números típicos de bocais de tetos podem ser utilizadas.

A Tabela 6 apresenta as estimativas utilizadas por fabricantes de teto. O dimensionamento correto de quebra-vácuo varia muito com as vazões de enchimento e esvaziamento e premissas de projeto. O mesmo se aplica ao número de drenos, que depende do índice pluviométrico da região das premissas de projeto. A Tabela 6 não deve substituir as condições de cálculo reais do tanque.

Caso o diâmetro real do tanque esteja entre dois valores citados nas Tabelas 6 e 7, deve-se utilizar o maior valor. Os drenos de teto para água de chuva não são utilizados em tetos flutuantes com flutuadores do tipo “pontão”. São utilizados normalmente em tetos com dupla cobertura e são tipicamente utilizados abertos.

TABELA 5 - FATORES DE PERDA DE VEDAÇÕES E NÚMERO TÍPICO DE BOCAIS DE TETO (CONTINUA)

FATORES DE PERDA DE VEDAÇÕES E NÚMERO TÍPICO DE BOCAIS DE TETOS	Fatores de perda em bocais			Quantidade Típica de Colunas
	K_{fa}^1 $\frac{lbmol}{ano}$	K_{fb}^1 $\frac{lbmol}{ano}$	m Adimensional	N_F^2 Adimensional
Tipos e detalhes construtivos de bocais de teto				
<i>A - Boca de Visita 24" (610mm)</i>				
a) Com tampa aparafusada, com vedação	0,0000	0,000	0,0000	1
b) Sem tampa aparafusada e sem vedação	2,7000	7,1000	1,0000	
c) Sem tampa aparafusada e com vedação	2,9000	0,4100	1,0000	
<i>B - Mastro guia (de 8 a 21" - 203 a 530mm) sem furações.</i>				
a) Com acabamento de mastro	0,000	67,000	0,9800 ⁴	1
b) Sem acabamento de mastro	0,000	3,000	1,400	
<i>C - Mastro guia / medição (de 8 a 21" - 203 a 530mm) com furações.</i>				
a) Com acabamento de mastro e sem flutuador	0,000	310,000	1,200	3
b) Com acabamento de mastro e com flutuador	0,000	29,000	2,000	
c) Sem acabamento de mastro e sem flutuador	0,000	260,000	1,200	
d) Sem acabamento de mastro e com flutuador	0,000	8,500	2,400	
<i>D - Bocal para medição de nível 20" (508mm)</i>				
a) Sem tampa aparafusada e sem vedação	2,300	5,900	1,000	1
b) Sem tampa aparafusada e com vedação	2,400	0,340	1,000	
c) Com tampa aparafusada, com vedação	0,000	0,000	0,000	

FONTE: ADAPTADO DE MCDONALD (1992)

Notas:

1 – Os fatores de perda (K_{fa} , K_{fb} e m) podem ser utilizados para velocidades do vento de 2 a 15 mph

2– Caso não existam mais informações disponíveis, este valor pode ser assumido como o mais comum e típico bocal de teto atualmente usado.

3 - Mastros guia / medição são bocais opcionais e não utilizados normalmente.

TABELA 5 - FATORES DE PERDA DE VEDAÇÕES E NÚMERO TÍPICO DE BOCAIS DE TETOS (CONTINUA)

FATORES DE PERDA DE VEDAÇÕES E NÚMERO TÍPICO DE BOCAIS DE TETOS	Fatores de perda em bocais			Quantidade Típica de Colunas
	K_{fa}	K_{fb}	m	N_F
Tipos e detalhes construtivos de bocais de teto	$\frac{lbmol}{ano}$	$\frac{lbmol}{ano}$	Adimensional	Adimensional
<i>E - Bocal para medição de nível 8" (203mm)</i>				
a) Atuador mecânico - contra-peso (com vedação)	0,950	0,140	1,000	1
b) Atuador mecânico - contra-peso (sem vedação)	0,910	2,400	1,000	
<i>F - Quebra-vácuo 10" (254mm)</i>				
a) Atuador mecânico - contra-peso (com vedação)	1,200	0,170	1,000	Tabela 6
b) Atuador mecânico - contra-peso (sem vedação)	1,100	3,000	1,000	
<i>G - Dreno de teto 3" (76mm)⁴</i>				
a) Aberto	0,000	7,000	1,400	Tabela 6
b) Fechado 90%	0,510	0,810	1,000	
<i>H - Perna de sustentação do teto 3" (76mm)</i>				
a) Ajustável (posicionado próximo aos flutuadores "pontão")	1,500	0,200	1,000	Tabela 7
b) Ajustável (posicionado próximo ao centro)	0,250	0,067	1,000	
c) Ajustável (tetos com dupla cobertura)	0,250	0,067	1,000	
d) Fixos	0,000	0,000	0,000	

FONTE: ADAPTADO DE MCDONALD (1992)

Notas:

4 – Drenos de teto para água de chuva não são utilizados em tetos flutuantes com flutuadores do tipo "pontão". São utilizados normalmente em tetos com dupla cobertura e são tipicamente utilizados abertos

TABELA 5 - FATORES DE PERDA DE VEDAÇÕES E NÚMERO TÍPICO DE BOCAIS DE TETOS (CONCLUSÃO)

FATORES DE PERDA DE VEDAÇÕES E NÚMERO TÍPICO DE BOCAIS DE TETOS	Fatores de perda em bocais			Quantidade Típica de Colunas
	K_{fa} $\frac{lbmol}{ano}$	K_{fb} $\frac{lbmol}{ano}$	m Adimensional	N_F Adimensional
Tipos e detalhes construtivos de bocais de teto				
<i>9 - Perna de sustentação do teto 2,5" (76mm)</i>				
a) Ajustável (posicionado próximo aos flutuadores "pontão")	1,700	0,000	0,000	
b) Ajustável (posicionado próximo ao centro)	0,410	0,000	0,000	-
c) Ajustável (tetos com dupla cobertura)	0,410	0,000	0,000	
d) Fixos	0,000	0,000	0,000	
<i>10 - Bocal de Ventilação 6" (152mm)</i>				
a) Atuador mecânico - contra-peso (com vedação)	0,710	0,100	1,000a4	1 ⁵
b) Atuador mecânico - contra-peso (sem vedação)	0,680	1,800	1,000	

FONTE: ADAPTADO DE MCDONALD (1992)

Notas:

5 – Bocais de ventilação são utilizados em tetos com selos de vedação primária.

TABELA 6 - NÚMERO DE QUEBRA VÁCUO E DRENOS PARA TETOS FLUTUANTES

Diâmetro do Tanque [m]	Quebra-vácuo		Drenos
	Teto Com Flutuadores "Pontão"	Tetos com Dupla Cobertura	Tetos com Dupla Cobertura
15	1	1	1
30	1	1	1
46	2	2	2
61	3	2	3
76	4	3	5
91	5	3	7
107	6	4	-
122	7	4	-

FONTE: ADAPTADO DE MCDONALD (1992)

TABELA 7 - NÚMERO DE PERNAS DE SUSTENTAÇÃO PARA TETOS FLUTUANTES

Diâmetro do Tanque [m]	Tetos Tipo "Pontão"		Tetos com Dupla Cobertura
	Pernas Posicionadas no "Pontão"	Pernas Posicionadas no Centro	
9	4	2	6
15	6	6	8
21	13	9	13
27	16	12	20
34	18	20	29
40	20	28	40
46	23	38	52
52	27	49	66
58	29	62	82
64	31	77	98
70	33	92	115
76	35	109	138
82	36	128	162
88	38	148	186
94	39	168	213
101	40	190	240
107	42	213	270
113	45	238	300
119	47	266	330

FONTE: ADAPTADO DE MCDONALD (1992)

3.2.1.3 Cálculo de emissão em tanques com teto flutuante interno

As emissões apresentadas neste item são aplicáveis apenas para tanques com tetos flutuantes internos livremente ventilados e que estejam de acordo com a norma API-650 apêndice H.

Estas equações não devem ser utilizadas com a finalidade de estimar perdas quando as seguintes características estão presentes (MCDONALD, 1992):

- a) teto flutuante interno fechado (tanques ventilados apenas com válvulas de alívio de pressão e vácuo);

- b) líquidos instáveis (que se condensam, polimerizam, decompõem ou se torne auto reativo violentamente sob condições de choque, temperatura ou pressão);
- c) de líquidos com pressão de vapor desconhecidos e
- d) tanques cuja vedação do teto esteja danificada ou significativamente permissível ao líquido armazenado.

As emissões de tanques com tetos flutuantes internos podem ser estimadas pela Equação 14.

$$L_T = L_R + L_{WD} + L_F + L_D \quad (14)$$

Onde o L_T é perda total (lb/ano), o L_R é perda no anel periférico de vedação (lb/ano), calculado pela Equação 8; L_{WD} é perda por trabalho (lb/ano), ligado à operações de enchimento e esvaziamento do tanque (perdas no filme das paredes) , e determinado pela Equação 10.

O L_F representa a perda em vedação de componentes (lb/ano) – bocas de visita, bocais para equipamentos, bocais de inspeção dos flutuadores, manutenção dos suportes (pés), e demais componentes. Para tetos flutuantes internos, segue a equação 15. Já o L_D é a perda por vedação da chaparia (película de cobertura) (lb/ano) e é calculado pela Equação 16.

$$L_F = F_F \times P^* \times M_V \times K_C \quad (15)$$

Sendo F_F o fator de perda total nas vedações dos componentes e determinado pela Equação 12, onde N_{Fi} é o número de bocais de inspeção em flutuadores ($i = 0,1,2...n$) e pode ser obtido na Tabela 8. O K_{Fi} é fator de perda de bocais do teto flutuante interno (lbmol/ano), também obtido na Tabela 8, sendo n é número total dos diferentes tipos de bocal;

O valor de F_F é calculado com o número real específico do projeto do tanque em questão, (N_F) e então multiplicando pelo fator de perda para bocais (K_F).

TABELA 8 - FATORES DE PERDA EM VEDAÇÕES E NÚMERO DE BOCAIS DE TETOS INTERNOS

RESUMO DE FATORES DE PERDA DE VEDAÇÕES E NÚMERO TÍPICO DE BOCAIS DE TETOS FLUTUANTES INTERNOS ¹	Fatores de perda em bocais	Quantidade Típica de Bocais
	K_F	N_F
Tipos e detalhes construtivos de bocais de teto flutuante interno	$\frac{(lb - mol)}{ano}$	Adimensional
1 - Boca de Visita 24" (610mm)		
a) Com tampa aparafusada, com vedação	1,6	1
b) Sem tampa aparafusada e com vedação	11,0	
c) Sem tampa aparafusada e sem vedação	25,0 ²	
2 - Bocal para nível (flutuante) - 24" (610mm)		
a) Com tampa aparafusada, com vedação	5,1	1
b) Sem tampa aparafusada e com vedação	15,0	
c) Sem tampa aparafusada e sem vedação	28,0 ²	
3 - Coluna 24" (610mm)		
a) Construída com conjuntos de perfis - com vedação	33,0	Tabela 7
b) Construída com conjuntos de perfis - sem vedação	47,0 ²	
c) Coluna Tubular - fabricada com vedação flexível	10,0	
d) Coluna Tubular - com vedação	19,0	
e) Coluna Tubular - sem vedação	32,1	
4 - Escada marinheiro ³ 36" (914mm)		
a) Com vedação	56,0	1
a) Sem vedação	76,0 ²	
5 - Pés de sustentação da película		
a) Ajustáveis	7,9 ²	$[5 + D/10 + (D^2/600)]^2$
b) Fixos	0,0	
6 - Tubo de amostragem - 24" (610mm)		
a) Com furações e com vedação	44,0	1
b) Sem furações e sem vedação	57,0	
c) Com furações e com vedação de fábrica, com no máximo 10% de abertura	12,0 ²	
7 - Dreno de teto 1" (25mm)		
a) Aberto	1,200	$(D^2/125)$
6 - Quebra-vácuo 10" (254mm)		
a) Atuador mecânico - contra-peso (com vedação)	0,7 ²	1
b) Atuador mecânico - contra-peso (sem vedação)	0,9	

FONTE: ADAPTADO DE MCDONALD (1992)

Notas:

1 – Para velocidades do vento de 2 a 15 mph

2 – Caso não existam mais informações disponíveis, este valor pode ser assumido.

3 – Não utilizado em tetos flutuantes internos soldados.

Para tetos flutuantes internos soldados, não há perdas na película de cobertura. Estas perdas são típicas de tetos flutuantes internos rebitados ou aparafusados e podem ser estimadas pela Equação 16.

$$L_D = K_D \times S_D \times D^2 \times P^* \times M_V \times K_C \quad (16)$$

Com K_D sendo a perda na vedação da chaparia por unidade de fator de comprimento de vedação (0,34 lbmol/ft-ano) e S_D o fator de comprimento de vedação (ft/ft²), ou seja, o comprimento total de vedações da chaparia dividido pela área da mesma, que está melhor ilustrado no projeto típico de teto flutuante interno, na Figura 10.

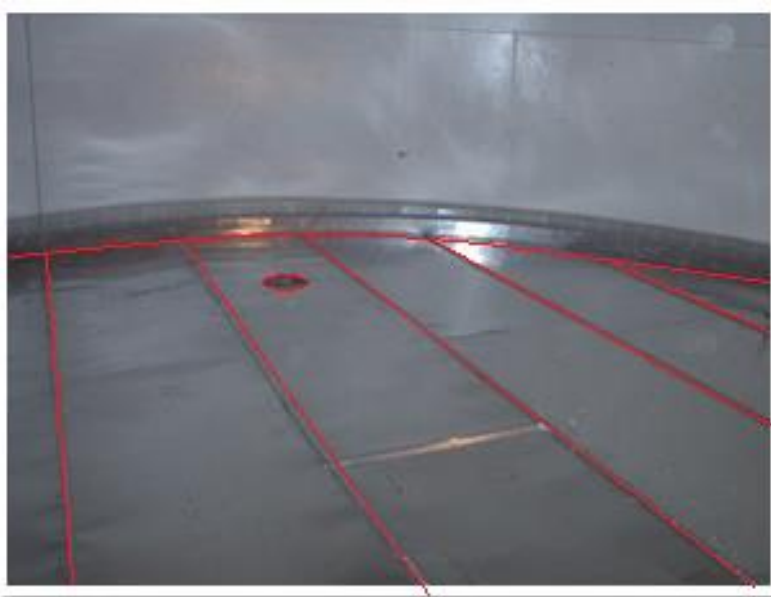


FIGURA 10 - COMPONENTES SUJEITOS À VEDAÇÃO EM PROJETO DE TETO FLUTUANTE INTERNO

FONTE: VETOR-MATHIAS, 2015

Caso o comprimento total de chaparia, sujeito à vedação, não seja conhecido, é possível utilizar a Tabela 9 para estimar S_D .

A Tabela 9 pode ser utilizada somente à tetos rebitados ou aparafusados. Caso não existam mais informações disponíveis, este valor pode ser assumido como o mais comum e típico da configuração de montagem para chaparia do teto flutuante externo.

TABELA 9 - PERDA EM CHAPARIA PARA CONSTRUÇÕES DE TETO FLUTUANTE INTERNO

Fator de perda em chaparia para construções típicas de teto flutuante interno	S_D
Distribuição da chaparia	ft / ft ²
<i>A - Construção com chaparia contínua (bobina)</i>	
a) Largura de 5 ft (1,5m)	0,20
b) Largura de 6 ft (1,8m)	0,17
c) Largura de 7 ft (2,1m)	0,14
<i>B - Construção com painéis de chapa</i>	
a) Retangulares de 5 x 7,5 ft ² (ou 1,5 x 2,3m ²)	0,33
a) Retangulares de 5 x 12 ft ² (ou 1,5 x 3,6m ²)	0,28

FONTE: ADAPTADO DE MCDONALD (1992)

3.2.1.4 Utilização do Software TANKS 4.09d

O preenchimento do *software* é autoexplicativo e possibilita a criação de novos dados de entrada, como dados meteorológicos, características técnicas de produtos e características construtivas (anéis de vedação ou bocais) não cadastradas na biblioteca do *software*, conforme a Figura 11-a.

Na tela inicial, é possível selecionar o tipo de tanque e teto aplicado no estudo simulado, de acordo com a Figura 11-b.

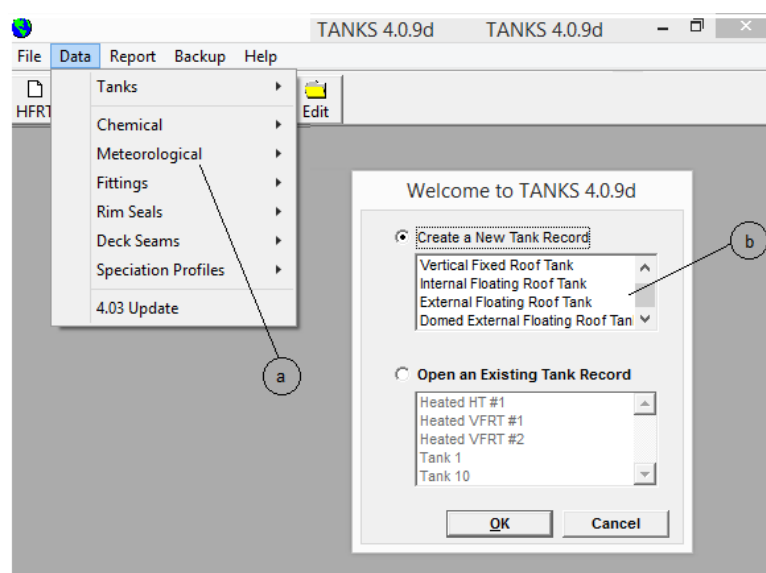


FIGURA 11 - TELA INICIAL SOFTWARE TANKS 4.09D

a) Campo para dados meteorológicos; b) Campo para escolha de tipo de tanque.

FONTE: U.S. EPA (2006)

Os dados ambientais de uma localidade podem ser inseridos no banco de dados do *software*, conforme apresentado na Figura 12 e aplicado neste trabalho para os ensaios em protótipos (item 3.4.4).

Na Figura 12-a, apresenta-se a seleção de uma cidade do banco de dados do *software* ou uma cidade previamente inserida. Os dados apresentados da Figura 12-b são a temperatura ambiente média diária no período de um ano e pressão atmosférica de um local determinado. No quadro apresentado na Figura 12-c, são apresentadas a temperatura ambiente máxima e mínima diárias, no período mensal, bem como o fator de radiação solar e velocidade do vento, com suas unidades discriminadas.

Meteorological

City:

City: State:

Daily Average Ambient Temperature (F): Atmospheric Pressure (psia):

Month	Daily Maximum Ambient Temp. (F)	Daily Minimum Ambient Temp. (F)	Solar Insulation Factor (Btu / (ft ² *day))	Average Wind Speed (mph)
JAN	75,2	59,2	1122,18399	9,5
FEB	76,5	60,4	1344,27299	10,1
MAR	79,1	64,2	1633,9405	10,5
APR	82,4	67,8	1910,59994	10,5
MAY	85,3	72,1	1893,15009	9,5
JUN	87,6	75,1	1771,00114	8,3
JUL	89	76,2	1854,12588	7,9
AUG	89	76,7	1775,76019	7,9
SEP	87,8	75,9	1551,13303	8,2
OCT	84,5	72,1	1381,39358	9,2
NOV	80,4	66,7	1162,16001	9,7
DEC	76,7	61,5	1048,26008	9,2
ANN	82,79166666666666	68,99166666666666	1537,331785	9,208333333333333

FIGURA 12 - DADOS METEREOLÓGICOS SOFTWARE TANKS 4.09D

- a) Escolha de cidade base para configurar nova cidade; b) Campo para inserir pressão atmosférica, c) Campos para inserir temperaturas e velocidades médias mensais no local a ser criado; d) Campo para adicionar nova cidade criada.

FONTE: U.S. EPA (2006)

Caso a localidade onde o tanque será simulado não faça parte do banco de dados do programa, é possível acrescentar uma localidade (Figura 12-d) a partir da adição das variáveis citadas anteriormente.

De forma análoga, é possível adicionar variáveis para produtos, características construtivas (anéis de vedação ou bocais), mas estas alterações não foram utilizadas neste trabalho.

Neste trabalho, foram utilizadas as ferramentas do *software* para análise de tanques verticais com teto fixo (com teto tipo cônico e domo) e

tanques com teto fixo e teto flutuante interno.

Os dados necessários de entrada para tanques de teto fixo (Figura 13) são: altura de costado, diâmetro, altura máxima de produto, altura média de produto. O volume de trabalho foi calculado automaticamente pelo *software*. A quantidade de ciclos de trabalho por ano (cada ciclo um enchimento e esvaziamento). Além destes, o programa requisita a coloração e condição do costado e teto, bem como tipo de teto (cônico ou domo). A altura e declividade (para tetos cônicos) bem como o raio de curvatura para tetos domo foram calculadas automaticamente. As unidades de cada parâmetro estão discriminadas no seu campo das Figuras 13 e 14.

The screenshot shows the 'Vertical Fixed Roof Tank' configuration window in the TANKS 4.0.9d software. The window is divided into several sections with input fields and dropdown menus.

Section	Parameter	Value
Dimensions:	Shell Height (ft):	49,2
	Shell Diameter (ft):	137,8
	Maximum Liquid Height (ft):	47,3
	Average Liquid Height (ft):	40
	Working Volume (gal):	5.332.727,713752
	Turnovers per Year:	50,00
	Net Throughput (gal/yr):	266.636.385,6876
	Is Tank Heated?	No
Roof Characteristics:	Color/Shade:	White/White (D)
	Condition:	Good (D)
	Type:	Cone
	Height (ft):	8,61
	Slope (ft/ft) (Cone Roof):	0,12
Shell Characteristics:	Shell Color/Shade:	White/White (D)
	Shell Condition:	Good (D)
Breather Vent Settings:	Vacuum Setting (psig):	-0,03
	Pressure Setting (psig):	0,03

Buttons at the bottom: Copy, Run Report, Save, Close, Help.

FIGURA 13 - DADOS DE ENTRADA PARA TANQUES DE TETO FIXO
 FONTE: U.S. EPA (2006)

Para tanques de teto fixo com teto flutuante interno, os dados de entrada (Figura 14) são: diâmetro, volume do tanque, quantidade de ciclos de trabalho por ano (cada ciclo um enchimento e esvaziamento). O volume movimentado por ano foi calculado automaticamente. Além destes, o

programa questiona se o tanque em questão tem teto fixo suportado ou autoportante e, em caso de teto suportado, as características de colunas de sustentação, bem como as características de condição e coloração de pintura de teto e costado. Como se tratam de tetos flutuantes internos, também foi questionado se a selagem interna (vedação em nylon conforme apresentado na Figura 5) era simples ou dupla e qual tipo de vedação das películas de alumínio (rebitadas, aparafusadas ou soldadas).

The screenshot shows the 'Internal Floating Roof Tank' window in the TANKS 4.0.9d software. The 'Physical Characteristics' tab is active, displaying the following data:

Tank Characteristics:		Rim Seal System:	
Diameter (ft):	137,8	Primary Seal:	Mechanical Shoe
Tank Volume (gal):	5.276.946,00	Secondary Seal:	None
Turnovers per year:	50,00	Deck Characteristics:	
Net Throughput (gal/yr):	263.847.300,00	Deck Type:	Welded
Self Supporting Roof?	No	Deck Fitting Category:	Typical
Number of Columns:	9		
Effective Column Diameter:	0,7		
Internal Shell Condition:	Light Rust (D)		
External Shell Color/Shade:	White/White (D)		
External Shell Condition:	Good (D)		
Roof Color/Shade:	White/White (D)		
Roof Paint Condition:	Good (D)		

Buttons at the bottom include Copy, Run Report, Save, View/Add Fittings, Close, and Help.

FIGURA 14 - DADOS DE ENTRADA PARA TANQUES DE TETO FIXO COM TETO FLUTUANTE
FONTE: U.S. EPA (2006)

Além das características específicas de cada tipo de tanque, apresentadas nas Figuras 13 e 14, também foram necessárias as condições ambientais, a partir da seleção de uma cidade específica (Figura 15), as condições do produto armazenado (Figura 16) e da apresentação do cálculo anual ou mensal (Figura 17).

Os resultados obtidos com o *Software Tanks 4.09d* (U.S. EPA, 2006) são emitidos na forma de relatórios padrão (Figura 18 e 19) apresentando sempre as perdas em massa (lb). Sendo as perdas dos tanques com teto autoportante fixo domo e cônico separadas em perdas de trabalho (L_w) e perdas devido à variações de temperatura ou respiração do tanque (L_s). As

perdas de tanques com teto flutuante interno são divididas em: vedação (L_R), retirada (L_{WD}), bocais internos (L_{RF}) e juntas internas (L_D). Estas, apresentadas ao longo dos doze meses do ano.

FIGURA 15 - SELEÇÃO DE CIDADE E CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS
 FONTE: U.S. EPA (2006)

FIGURA 16 - SELEÇÃO DE PRODUTO ARMAZENADO E SUAS CARACTERÍSTICAS
 FONTE: U.S. EPA (2006)

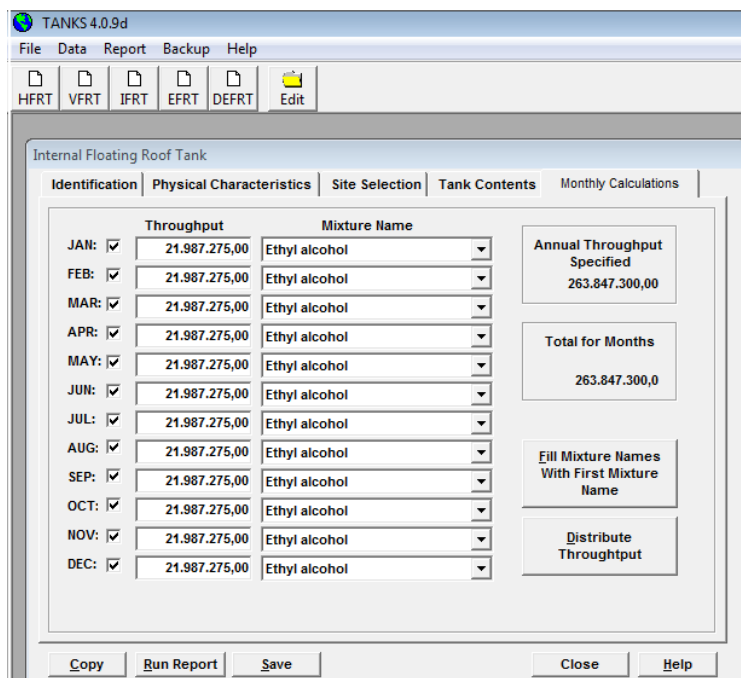


FIGURA 17 - SELEÇÃO DE MODELO DE APRESENTAÇÃO DE RESULTADO (ANUAL OU MENSAL)

FONTE: U.S. EPA (2006)

A Figura 18 ilustra um exemplo de relatório emitido pelo *software* TANKS para perdas mensais típicas de tanques com teto fixos: perdas relacionadas com as variações de temperatura (L_S - *breathing loss*) e perdas de trabalho (L_W - *working loss*).

L_S	L_W	L_R	L_{WD}	L_{RF}	L_D
1476	14861	0	0	0	0
1597	16027	0	0	0	0
2101	17404	0	0	0	0
2655	19863	0	0	0	0
3293	22786	0	0	0	0
3738	26079	0	0	0	0
3445	27741	0	0	0	0
3203	26800	0	0	0	0
2763	24400	0	0	0	0
2393	20560	0	0	0	0
1718	16880	0	0	0	0
1436	14901	0	0	0	0

FIGURA 18 - PERDAS TÍPICAS DE TANQUE COM TETO FIXO (CÔNICO OU DOMO) – RESULTADOS EM MASSA (lb)

FONTE: O Autor (2015)

A Figura 19 ilustra um exemplo de relatório emitido pelo *software* TANKS para perdas mensais típicas para tanques com teto fixos e teto flutuante interno: perdas na vedação do selo (L_R - *rim seal loss*), perdas por retirada de produto (L_{WD} - *withdraw loss*), perdas nos bocais internos da película (L_{RF} - *deck fitting loss*) e juntas internas da película (L_D - *deck seamloss*). Os dados apresentados nas Figura 18 e 19 são apenas figurativos e não foram utilizados no trabalho.

L_S	L_W	L_R	L_{WD}	L_{RF}	L_D
0	0	44	37	54	0
0	0	48	37	58	0
0	0	52	37	64	0
0	0	60	37	73	0
0	0	69	37	84	0
0	0	80	37	97	0
0	0	85	37	103	0
0	0	82	37	100	0
0	0	74	37	90	0
0	0	62	37	76	0
0	0	51	37	62	0
0	0	45	37	54	0

FIGURA 19 - PERDAS TÍPICAS DE TANQUE COM TETO FIXO E FLUTUANTE INTERNO – RESULTADOS EM MASSA (lb)
 FONTE: O Autor (2015)

3.2.2 Premissas adotadas

As condições construtivas e operacionais tanto para o tanque em si quanto para as condições operacionais são muitas, para tanto, se fez necessário o estabelecimento de premissas para as simulações que objetivaram a análise das perdas por emissão utilizando as variáveis de controle mais comuns para gerenciadores de parques de tanques (item 3.2.3).

As premissas que seguem foram adotadas nas simulações da primeira etapa deste trabalho, utilizando o *Software* TANKS 4.09d (U.S. EPA, 2006):

- a) Condições ambientais: como os parques de tanques normalmente tem seu gerenciamento setorizado por unidades industriais, a escolha da localização, requerida pelo *software* (Figura 15) foi mantida constante, porém escolhida de forma aleatória. Como a intenção foi a de fazer um

comparativo entre aplicação ou não de teto flutuante interno em termos percentuais para uma determinada localidade fixa, a escolha do local (e suas características) era indiferente, desde sempre fosse mantida.

- b) Números de ciclos ou giros (perdas por emissão em enchimentos e esvaziamentos, de acordo com Equação 5): adotou-se 365 operações de enchimento e esvaziamento durante o ano. Para a análise da influência dos ciclos sobre as perdas, foram realizadas simulações específicas, escolhendo 4 simulações de maior influência e mantendo todas as características idênticas, variando apenas a quantidade de ciclos para 12 (mensal), 54 (semanal) e 121 (uma vez a cada três dias).
- c) Tipo de teto: foram realizadas simulações com tetos dos tipos: fixo cônico autoportante; fixo domo autoportante e fixo cônico autoportante com teto flutuante interno.
- d) Condições construtivas do teto:
 - i. Para tetos cônicos suportados: declividade de (1:16);
 - ii. Para tetos tipo domo: o raio do domo foi considerado igual ao diâmetro do tanque;
 - iii. Para os tetos flutuantes internos: películas de alumínio soldadas e teto externo autoportante (sem colunas de estrutura de sustentação).

Estes valores são padrões do *Software* TANKS 4.09d (U.S. EPA, 2006).
- e) Características dimensionais: as características de diâmetro e altura adotadas nas simulações, bem como a altura operacional de coluna de produto interna são apresentadas na Tabela 10. Para possibilitar a comparação do espaço vazio do tanque, foi estabelecido sempre duas alturas operacionais do tanque, sendo uma sempre o dobro da outra.
- f) Produto armazenado: para cada uma das simulações realizadas foram adotados os seguintes produtos: álcool, gasolina, óleo cru e querosene de aviação. As propriedades físico-químicas utilizadas seguem os padrões utilizados no *software* e obtidos na literatura (Anexo I). A Tabela 11 apresenta os dados utilizados.

TABELA 10 - ALTURAS E VOLUMES OPERACIONAIS

Diâmetro D [m]	Altura H [m]	Volume total V [m ³ .1000]	Altura operacional h [m]	Volume operacional Ψ [m ³]
16,7	18,5	4,0	8,4	1.850
			16,9	3.700
29,5	25,0	17,1	7,3	5.000
			14,6	10.000
28,6	35,0	22,5	15,6	10.000
			31,1	20.000
45,0	28,8	45,8	12,6	20.000
			25,2	40.000
65,0	25,0	82,9	12,1	40.000
			24,1	80.000

FONTE: O Autor (2015)

TABELA 11 - MASSA ESPECÍFICA E PONTO DE FULGOR

Produto	Massa específica ¹		Ponto de Fulgor ² (°C)
	(lb/gal)	(kg/m ³)	
Gasolina	5,60	671	-43
Óleo Cru	7,10	851	-7 a 32
Álcool	6,61	759	13
Querosene de aviação	7,00	839	40

FONTES: ¹Software Tanks 4.09 (U.S.EPA, 2006), ²FISPQS disponíveis no anexo II

3.2.3 Determinação das variáveis de análise

A partir das premissas definidas no item 3.2.2, e estabelecimento de: localização única das simulações; quantidade de ciclos; tipos de teto e suas condições construtivas; diâmetro, altura e conseqüentemente volume dos tanques, alturas operacionais de preenchimento de produto e os produtos armazenados, foi possível um resultado em massa (lb) das perdas por emissão.

Para possibilitar a comparação dos resultados, a partir da perda total (L_T) de cada simulação determinou-se a perda percentual por emissão.

A perda por emissão percentual foi obtida relacionando a massa de produto perdido com o volume de produto armazenado (operacional), como mostra a Equação 17.

$$\xi = (L_T * \rho) / \Psi \quad (17)$$

Com ξ sendo a perda por emissão percentual de produto por evaporação (%); L_T a carga total perdida (lb – convertido para kg), que consistiu no somatório de todas as perdas anuais apresentadas no relatório do *Software TANKS* (U.S. EPA, 2006) e apresentadas nas Equações 1 e 14; V o volume operacional (m^3) e ρ a massa específica do produto armazenado (kg/m^3).

3.2.4 Cenários simulados

As simulações foram organizadas a partir dos grupos de variáveis analisadas e suas interações. Com as premissas dos itens 3.2.2 e 3.2.3 foi possível compor um quadro de simulações, de onde foram estimadas as perdas percentuais (ξ) para cada cenário (Figura 20).

Parâmetro 1	Parâmetro 2	Parâmetro 3	Parâmetro 4	Parâmetro 5
Volume ($D \times h$) (m^3) - ($m \times m$) (5 variações)	Tipo de Teto (3 variações)	Tipo de Produto (4 variações)	Altura Operacional (m) (2 variações)	Perda por emissão percentual (%)
$V = 4.10^3 m^3$ $D \times h$ (16,7 x 18,5) m $V = 17,1.10^3 m^3$ $D \times h$ (29,5 x 25,0) m $V = 22,5.10^3 m^3$ $D \times h$ (28,6 x 35,0) m $V = 45,8.10^3 m^3$ $D \times h$ (45,0 x 28,8) m $V = 82,9.10^3 m^3$ $D \times h$ (65,0 x 25,0) m	Fixo Cônico Autoportante Fixo Domo Autoportante Fixo Cônico com Teto Flutuante Interno	Álcool Gasolina Óleo Bruto Querosene de Aviação	$h^1 = 8,4$ m $h^2 = 16,9$ m $h^1 = 7,3$ m $h^2 = 14,6$ m $h^1 = 15,6$ m $h^2 = 31,1$ m $h^1 = 12,6$ m $h^2 = 25,2$ m $h^1 = 12,1$ m $h^2 = 24,1$ m	ξ_1 ξ_2 ξ_3 ... ξ_n

FIGURA 20 - COMPOSIÇÃO DE CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO:
FONTE: O Autor (2015)

a) Volume dos tanques: 5 variedades com dimensões aproximadas e comuns aos tanques reais encontrados em campo (cujas dimensões são determinadas pelo melhor aproveitamento de chapas) conforme apresentado na Tabela 10.

b) Tipo de teto (fixo cônico, fixo domo – ambas sem teto flutuante interno – e fixo cônico com teto flutuante interno).

c) Tipo de produto abrangendo uma faixa de diferentes pontos de fulgor, comuns na indústria petroquímica (Tabela 10).

d) Altura operacional do produto no interior do tanque (com duas situações: volume nominal completo e pela metade, para avaliar a influência do “volume vazio” no interior do tanque).

Completando um quadro inicial de 120 simulações.

e) Número de ciclos: para complementar o estudo e avaliar a influência da quantidade de ciclos de trabalho (item 3.2.2-b), foram selecionadas 4 simulações de maior influência (2 com gasolina e 2 com álcool, com e sem teto flutuante interno) e mantiveram-se todas as características idênticas, variando apenas a quantidade de ciclos para 12 (mensal), 54 (semanal) e 121 (uma vez a cada três dias), além dos 365 dias contemplados nas 120 simulações principais, de acordo com Figura 21.

Parâmetro 1	Parâmetro 2	Parâmetro 3	Parâmetro 4	Parâmetro 4	Parâmetro 5
Volume ($D \times h$) (m^3) - ($m \times m$) (1 variação)	Tipo de Teto (2 variações)	Tipo de Produto (2 variações)	Altura Operacional (m) (1 variação)	Quantidade de Ciclos (un) (3 variações)	Perda por emissão percentual (%)
$V = 22,5 \cdot 10^3 m^3$ $D \times h (28,6 \times 35,0) m$	Fixo Cônico Autoportante Fixo Cônico com Teto Flutuante Interno	Álcool Gasolina	$h = 31,1 m$	12 54 121 365 (*)	ξ_1 ξ_2 ξ_3 ... ξ_n

FIGURA 21 - COMPOSIÇÃO DE CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO COMPLEMENTAR

(*) Simulações já contempladas no quadro inicial (Figura 21)

FONTE: O Autor (2015)

Acrescentando assim 12 simulações para avaliação da influência do número de ciclos.

3.2.5 Perdas por emissão percentuais

Primeiramente, foram avaliadas as diferenças das perdas por emissão entre tanques de tetos fixo (cônico e domo), permitindo agrupar as simulações de teto fixo cônico e domo, com as demais características inalteradas.

A análise foi feita utilizando a relação direta entre suas perdas percentuais, como mostra a Equação 18.

$$\tau_n = 1 - (\xi_{cônico} / \xi_{domo}) (\%) \quad (18)$$

Com τ_n sendo a diferença percentual de perda entre a emissão de um teto autoportante tipo cônico ($\xi_{cônico}$) e um teto autoportante tipo domo (ξ_{domo}), ambos sem teto flutuante interno.

A influência das perdas por emissão a partir da aplicação de teto flutuante foi comparada ao agrupar as simulações da média de tetos fixos com a simulação correspondente com teto flutuante interno.

Neste caso, a relação direta entre suas perdas por emissão percentual foi obtida pela Equação 19.

$$\eta_n = (\xi_{flutuante} / \bar{\xi}_{fixo}) (\%) \quad (19)$$

Sendo η_n a representação do percentual de perda entre a emissão em tanques que possuem teto autoportante tipo cônico com teto flutuante ($\xi_{flutuante}$) em relação um teto fixo autoportante ($\bar{\xi}_{fixo}$), ambos sob as mesmas condições.

3.3 MODELAMENTO MATEMÁTICO

3.3.1 Desenvolvimento de modelo matemático para comparação de redução de emissão em tanques com e sem teto flutuante interno

Este item apresenta apenas o encadeamento das etapas para o desenvolvimento do modelo matemático. A partir das análises de

comportamento das perdas percentuais por emissão de tetos fixos com e sem teto flutuante interno, foi possível desenvolver a representação gráfica das perdas em função do volume armazenado, para cada tipo de produto, conforme ilustrado na Figura 22.

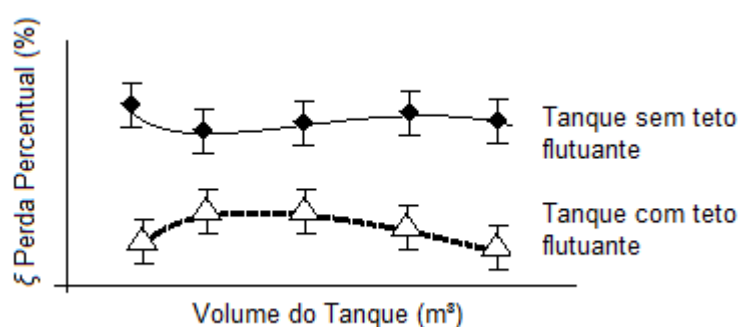


FIGURA 22 - REPRESENTAÇÃO DE COMPORTAMENTO DE PERFIS DE PERDA PERCENTUAL EM FUNÇÃO DO VOLUME DO TANQUE
 FONTE: O Autor (2015)

Com base nos perfis foi possível estabelecer uma função específica com a qual equacionou-se o comportamento das perdas para um determinado produto nas premissas adotadas. Os limites de tolerância das funções obtidas serão abordados no item 3.3.2.

Com o comportamento obtido pelas curvas para os tanques com e sem o teto flutuante interno, foi possível equacionar as perdas proporcionadas por estas configurações para o tanque em questão. Porém, a relação deste com o produto armazenado foi obtida a partir do agrupamento de curvas similares (com ou sem o teto flutuante) para diferentes tipos de produtos, caracterizados pelo seu ponto de fulgor, como mostra a Figura 23.

Com a elaboração desta representação gráfica a semelhança entre as curvas de mesma configuração de teto (com ou sem teto flutuante interno) e uma diversidade de produtos caracterizados pelo ponto de fulgor, tornou-se possível a relação entre a perda percentual, o volume do tanque de armazenamento, sua configuração de teto e o tipo de produto (por seu ponto de fulgor).

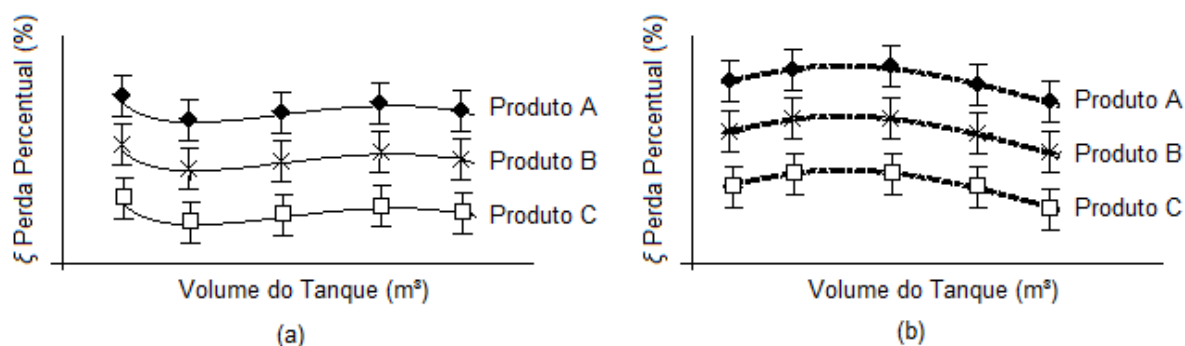


FIGURA 23 – REPRESENTAÇÃO DE COMPORTAMENTO DE PERFIS DE PERDA PERCENTUAL EM FUNÇÃO DO VOLUME DO TANQUE – AGRUPADAS POR TIPO DE PRODUTO E TETO

a) Perda percentual agrupada por produto para tanques sem teto flutuante interno

b) Perda percentual agrupada por produto para tanques com teto flutuante interno

FONTE: O Autor (2015)

3.3.2 Limites de aplicação e tolerância do modelo matemático proposto para redução de emissão

Com o equacionamento para cada situação a partir das funções, foi necessário prever os limites de tolerância da equação obtida para o modelo proposto neste trabalho. Para este trabalho foi selecionada a altura que proporcionava o volume nominal de projeto e a altura que proporcionava metade do volume nominal.

Os pontos para o volume nominal e metade do volume nominal foram representados como limites de tolerância máximos e mínimos, como ilustram as Figuras 22 e 23 e puderam ser equacionados, como funções de limites.

De mesma forma, foi possível relacionar a influência da quantidade de ciclos (enchimentos e esvaziamentos), a partir de uma relação simples entre a perda e a quantidade de ciclos.

A equação obtida (ξ_{CALC}) foi elaborada para uma quantidade de 365 ciclos, mas este quantitativo pode ser corrigido a partir da relação de perdas por número de ciclos, a metodologia adotada está ilustrada na Figura 24.

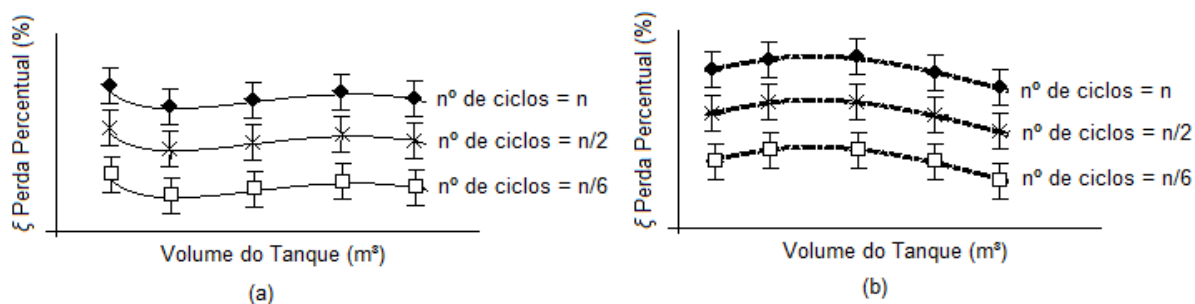


FIGURA 24 - REPRESENTAÇÃO DE COMPORTAMENTO DE PERFIS DE PERDA PERCENTUAL EM FUNÇÃO DO VOLUME DO TANQUE – AGRUPADAS POR NÚMERO DE CICLOS E TETO
a) Perda percentual agrupada por número de ciclos para tanques sem teto flutuante interno
b) Perda percentual agrupada por número de ciclos para tanques com teto flutuante interno
FONTE: O Autor (2015)

Com a equação (ξ_{CALC}) obtida, calculou-se a perda por emissão para uma determinada configuração de teto (com ou sem teto flutuante, ξ_{FIXO} e $\xi_{FLUTUANTE}$, respectivamente), para um determinado produto (relacionado pelo seu ponto de fulgor), para um volume de armazenamento relacionado com sua capacidade nominal e quantidade de ciclos, foi possível comparar os resultados da perda por emissão calculada pelo *Software* TANKS 4.09d e determinar também uma variação de tolerância, como erro percentual (Equação 20).

$$\xi = \xi_{calc} \pm \% \xi_{calc} \quad (20)$$

Onde ξ é a perda para a situação que se deseja avaliar, ξ_{calc} é a perda calculada pela função simplificada e $\% \xi_{calc}$ é a incerteza do cálculo em relação ao *Software* TANKS 4.09d.

3.3.3 Desenvolvimento de modelo matemático para avaliação financeira da aplicabilidade de tetos flutuantes internos:

A partir das informações de redução de emissão a partir da aplicação de tetos flutuantes internos, para cada produto, foi possível estabelecer uma comparação direta com o custo da aplicação (compra do equipamento), com a

finalidade de determinar o tempo de recuperação de investimento.

A análise realizada neste trabalho foi simples, sem as aplicações de taxas mensais de depreciação do equipamento, taxa mínima de retorno e demais ferramentas financeiras, sendo apenas um comparativo direto entre custo de investimento em relação à economia nas perdas por emissão, para possibilitar aos investidores e gerenciadores de plantas de tanques para armazenamento a decisão e justificativa da aplicação de tetos flutuantes internos.

Com a Equação 19 foi possível determinar uma relação das perdas por emissão em tanques com mesmas características, porém com e sem a aplicação do teto flutuante. Para tanto, ocorre uma redução nas perdas por emissão a qual pode ser obtida pela Equação (21).

$$G_n = 1 - \eta_n \quad (21)$$

Sendo G_n o ganho percentual anual do produto armazenado com a aplicação de tetos flutuantes internos, ou seja, a economia gerada com a redução da perda de produto por emissão fugitiva.

Ao aplicar a avaliação anual da economia e multiplica-las pelo volume armazenado V (em m^3) e o custo por litro teremos a economia do produto em unidades monetárias por ano.

$$P_{UM\$} = G_n * V * 1000 * U_{UM\$} \quad (22)$$

Onde $P_{UM\$}$ é o valor em unidade monetária economizada por ano, com a aplicação do teto flutuante interno e $U_{UM\$}$ são os valores unitários por litros do produto armazenado e que para o estudo estão apresentados na Tabela 12.

Como o valor de aplicação do teto flutuante interno ($T_{UM\$}$) era único e presente e os valores de economia consequentes da aplicação deste ($P_{UM\$}$) foram anuais, foi possível obter uma estimativa de tempo de retorno da aplicação em anos (y) ao dividir estes parâmetros, como indica a Equação 23.

$$y = T_{UM\$} / P_{UM\$} \quad (23)$$

TABELA 12 - VALORES DE MERCADO UNITÁRIOS PARA PRODUTOS ARMAZENADOS

Produto Armazenado	Valor de Mercado ($U_{UM\$}$)
Gasolina	UM \$ 2,70 / L ¹
Álcool	UM \$ 1,89 / L ¹
Óleo Cru	UM \$ 0,77 / L ²
Querosene	UM \$ 4,35 / L ³

FONTES: ¹PREÇOS DOS COMBUSTÍVEIS, 2014; ²INDEX MUNDI, 2015; ³TRIPULAÇÃO, 2014

3.3.4 Limites de aplicação e tolerância do modelo matemático proposto para avaliação financeira

Como foi possível avaliar na Equação 20, existem tolerâncias para o cálculo das perdas por emissão (limites máximos e mínimos) que devem ser levados em conta pelo analista no momento da estimativa do cálculo de retorno de aplicação de teto flutuante. O analista deve considerar ambos na análise.

Na consideração pessimista, a perda no tanque com teto fixo como:

$\xi_{\text{Fixo}} = \xi - \% \xi$ e a perda no tanque com teto flutuante aplicado como:

$\xi_{\text{Flutuante}} = \xi + \% \xi$.

Estas premissas resultarão na menor economia (G_n) possível, e conseqüentemente um tempo maior para alcançar o custo do investimento.

Por outro lado, a análise mais otimista leva em conta a perda no tanque com teto fixo como: $\xi_{\text{Fixo}} = \xi + \% \xi$.

E a perda no tanque com teto flutuante aplicado como: $\xi_{\text{Flutuante}} = \xi - \% \xi$.

Estas premissas resultarão na maior economia (G_n) possível, e conseqüentemente um tempo menor para alcançar o custo do investimento.

Com isto foi possível criar uma faixa de possibilidades com o melhor e pior cenário para a análise do investidor.

3.4 ENSAIOS EM PROTÓTIPOS

3.4.1 Considerações para trabalhos em escala

Com a intenção de obter uma avaliação prática do equacionamento proposto pelo *Software* TANKS 4.09d e pelas simplificações matemáticas propostas neste trabalho, foram executados ensaios em protótipos seguindo os conceitos explorados por Souza (2013), avaliando o desenvolvimento do produto baseado nas variáveis e condições de contorno e determinação de cenários a avaliar, bem como as influências de suas características e limitações para comparativos com a situação real.

3.4.2 Variáveis de controle para aplicação do ensaio

As variáveis envolvidas no processo podem ser divididas em variáveis determinadas, conhecidas e incoercíveis, sendo necessária a avaliação da influência de cada uma (Ulrich e Eppinger, 2000).

Para o grupo de variáveis determinadas foram consideradas:

- a) Dimensionamento dos protótipos dos tanques (diâmetro, altura e conseqüente volume em uma escala fixada.
- b) Aplicação de teto flutuante interno sob a mesma escala.
- c) Escolha do tipo do produto.
- d) Determinação da altura preenchimento do produto.
- e) Equipamentos de medição e suas tolerâncias.
- f) Quantidade, duração e simultaneidade e localização dos ensaios.
- g) Condições de pintura dos protótipos.

Foram elaborados 6 protótipos (em pares) com medidas de: $D = 16,7 \text{ cm} \times H = 18,5 \text{ cm}$, $D = 29,5 \text{ cm} \times H = 25,0 \text{ cm}$ e $D = 28,6 \text{ cm} \times H = 35,0 \text{ cm}$; em escala de 1:100. Possuindo respectivamente volumes nominais de 4 L, 15 L e 20 L (Tabela 18) seguindo medidas comuns de mercado. O dimensionamento dos protótipos está apresentado no Anexo II.

Em cada par destes protótipos foram realizados ensaios simultâneos com o mesmo produto, mantendo o nível de preenchimento na mesma altura, porém um dos tanques com teto flutuante interno e um sem, para que se verificasse a diferença de perda por emissão nas mesmas condições.

A exemplo das simulações feitas no *software*, na primeira etapa deste trabalho, foram simuladas condições de volume operacional máxima e intermediária, seguindo as mesmas proporções das simulações (Tabela 13).

Todos os protótipos foram pintados externamente na coloração alumínio, de forma a possibilitar sua comparação com tanques em boas condições de pintura.

TABELA 13 - VARIÁVEIS DETERMINADAS PARA OS ENSAIOS

Diâmetro D [cm]	Altura H [cm]	Volume total V [L]	Altura operacional h [cm]	Volume operacional Ψ [L]
16,7	18,5	4,0	8,4	1,85
			16,9	3,70
29,5	25,0	17,1	7,3	5,00
			14,6	10,00
28,6	35,0	22,5	15,6	10,00
			31,1	20,00

No grupo de variáveis conhecidas estão aquelas que não se tem o controle de alteração ou determinação, mas influenciam no processo e são passíveis de serem medidas para análise (Ulrich e Eppinger, 2000).

Dentre estas foram consideradas:

- a) Temperatura.
- b) Pressão do local.
- c) Grau de insolação.
- d) Ponto de fulgor dos produtos.

Estas variáveis foram adotadas a partir de informações externas ou literatura específica.

Para o grupo de variáveis incoercíveis deve ser avaliada a influência de variáveis no modelo que não atendem a proporcionalidade da situação a ser ensaiada (Ulrich e Eppinger, 2000). Como por exemplo, a espessura das chapas e do protótipo e do teto interno, as condições de vedação, a furação para respiro, estes dois últimos apresentados na Figura 25.



FIGURA 25 - CONDIÇÕES DE VEDAÇÃO DOS PROTÓTIPOS
FONTE: O Autor (2015)

Porém foi possível classificar estes desvios como de menor impacto, pois as espessuras não interferem no volume de controle. As vedações, apesar de não serem soldadas, trazem uma boa estanqueidade do volume de controle. A furação de respiro foi feita de forma a ser aproximada ao diâmetro de respiro do tanque, garantindo a condição de tanque atmosférico sem proporcionar uma grande vazão de emissão, como mostra a Figura 25.

3.4.3 Elaboração de cenários para os ensaios

Os ensaios foram realizados mensalmente com cada condição (por produto e por altura, em grupos de 6 tanques simultaneamente), em um total de 24 simulações, no período de fevereiro a maio de 2015, na cidade de Curitiba, Paraná, BR, em local aberto ao tempo.

A Figura 26 mostra os protótipos que foram construídos para este estudo e utilizados nos ensaios, a balança de pesagem e o cronograma dos ensaios.



FIGURA 26 - PROTÓTIPOS, BALANÇA E CRONOGRAMA DE ENSAIOS
 FONTE: O Autor (2015)

A determinação das perdas por emissão foi realizada por diferença de massa por meio de pesagens diárias em balança calibrada (Marca: Dahongying Modelo: ACS Series Price Computing Scale), os documentos de calibração da balança encontram-se no Anexo III. Os resultados obtidos foram registrados em relatórios de medição diários, conforme mostra a Figura 27 e organizado em uma planilha de resultados no Apêndice I-a a f.

Fotografia da Medição	Ensaio Nº	<input type="text"/>	
	Cidade:	Curitiba	
	Dia:	<input type="text"/>	
	Temperatura diária:	<input type="text"/>	Fonte Simepar
	Pressão média:	<input type="text"/>	Fonte Simepar
	Umidade do ar média:	<input type="text"/>	Fonte Simepar
	Produto armazenado	<input type="text"/>	
	Massa específica do produto	<input type="text"/>	kg/L
	Capacidade do tanque:	<input type="text"/>	L
	Volume do tanque:	<input type="text"/>	L
	Com teto flutuante?	<input type="text"/>	
Massa obtida:	<input type="text"/>	kg	

FIGURA 27 - MODELO DOS RELATÓRIOS DE MEDIÇÃO DIÁRIOS
 FONTE: O Autor (2015)

3.4.4 Limitações dos ensaios e comparação com os modelos matemáticos

Para cada ensaio foi realizada a simulação para obter uma estimativa da perda por emissões fugitivas utilizando o *Software* TANKS e com as equações do modelo obtido no item 3.2. Para esta simulação foram ajustadas no *Software* TANKS os parâmetros para a cidade de Curitiba, Paraná, BR.

Para a parametrização dos dados de temperaturas mínima, máxima, velocidade do vento foram utilizados dados cedidos pelo SIMEPAR (SIMEPAR, 2015). Os dados do fator de insolação foram cedidos pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al., 2006). Estes dados encontram-se no Anexo IV.

Não foram realizadas retiradas de produto durante o período de análise (um mês).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ORGANIZAÇÃO DOS RESULTADOS

Para apresentar os resultados de forma organizada e correlacionada com a metodologia foi elaborado um resumo dos resultados obtidos, o qual está apresentado no Quadro 6.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	4.2 Resultados das Simulações		4.3. Desenvolvimento Modelo Matemático		4.4. Resultados dos Ensaios	
	4.2.1	Relação de perda em função do tipo do teto fixo do tanque (cônico e domo)	4.3.1	Equacionamento e tolerância das perdas por emissão fugitivas – tetos fixos sem teto flutuante interno	4.4.1	Resultados
	4.2.2	Relação de perda em função da utilização do teto flutuante interno.				
	4.2.3	Influência do volume de preenchimento das perdas por emissão fugitiva.	4.3.2	Equacionamento e tolerância das perdas por emissão fugitivas – tetos fixos com teto flutuante interno	4.4.2	Comparação das perdas por emissão fugitiva obtidas nos ensaios com os resultados do <i>Software</i> TANKS 4.09d e equacionamento proposto
	4.2.4	Influência das perdas superficiais das perdas por emissão fugitiva.	4.3.3	Assertividade do equacionamento em relação ao <i>Software</i> TANKS 4.09d		
	4.2.5	Influência do número de ciclos de trabalho das perdas por emissão fugitivas	4.3.4	Fator de correção para o número de ciclos		
	4.2.6	Influência do ponto de fulgor do produto armazenado nas perdas por emissão fugitivas.	4.3.5	Avaliação financeira da aplicabilidade de tetos flutuantes internos	4.4.3	Análise de Resultados

QUADRO 6 - ORGANIZAÇÃO DE RESULTADOS

FONTE: O Autor (2015)

4.2 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

A utilização do *Software* TANKS 4.09d como referência de cálculo começa a ser utilizada no Brasil, a partir de exigência de alguns órgãos ambientais, como, por exemplo, a CETESB (2015), para criação de banco de dados, inventário e acompanhamento de emissões fugitivas em tanques atmosféricos.

O *software* também pode ser utilizado com intuito de estabelecer comparativos de redução de emissão para projetos futuros ou mesmo adequações de projetos existentes, trazendo elementos não apenas para avaliação ambiental, mas também para avaliação de retorno de investimento a partir de uma alteração construtiva no tanque.

Martins (2004) utilizou o *Software* TANKS 4.09d para determinar as perdas em emissão por trabalho (L_w) para a decisão de instalação ou não de um teto flutuante interno em um tanque já construído. O uso do *software* permitiu decisões de dimensionamento (volume de estoque), alterando as características dimensionais de um tanque para aplicação futura, levando em conta as movimentações previstas em seu volume.

Para este estudo, os resultados das simulações previstas na metodologia (item 3.2.4) foram agrupados pelo volume do tanque e estão apresentados no APENDICE I, sendo os resultados anuais, com 365 ciclos e simulados na cidade de Miami, Flórida. Esta localização foi selecionada de forma aleatória, pois como os resultados foram organizados e comparados entre si, para estabelecimento de uma metodologia de cálculo, não havendo influência do local (desde que mantido constante).

De forma geral, observou-se que, para os resultados obtidos nestas simulações, a perda por emissões fugitivas para o óleo cru e querosene de aviação são muito baixas, sendo em média inferior a 8% para o óleo cru e de 0,1% para o querosene. Isso se deve ao fato destes produtos possuírem ponto de fulgor muito alto, conforme será discutido no item 4.2.7.

4.2.1 Relação de perda em função do tipo de teto fixo do tanque (cônico e domo)

Para realizar a comparação entre tetos fixos tipo cônico e domo, as simulações, cuja única característica diferente foi a aplicação destes tipos de teto, foram selecionadas e agrupadas de forma a correlacionar um tipo de teto com o outro de acordo com a Equação 18, sendo que os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 14 e para auxiliar a interpretação dos resultados de forma gráfica na Figura 28.

Na Tabela 14 foi possível identificar que a diferença entre tetos fixos tipo domo e tipo cônico foram desprezíveis, sendo em média inferiores a 1,6% e com um pico inferior a 4% para os tanques que armazenam gasolina.

Outra informação que se pode conferir verificando a Tabela 14 foi que apesar das perdas proporcionais (ξ) aumentarem com a redução do volume operacional, a diferença de perda (τ) cai, de acordo com a equação 18.

O conceito de perda percentual (ξ) representa a análise mais comum de investidores e proprietários de tanques que, ao final de um período (normalmente semestral ou anual) avaliam a quantidade de produto perdido em relação ao armazenado ou movimentado. Este conceito apresenta uma perda percentual maior para menores volumes movimentados, embora a perda mássica possa ser próxima.

Na Figura 28, também foi possível observar que a quantidade de perdas do tanque de teto autoportante tipo cônico e tipo domo são similares, porém, sempre maiores para o tanque domo.

Também foi possível verificar que, apesar das perdas em massa serem próximas para cada tipo de produto analisado, as perdas percentuais (em volume) dobram, conforme ilustrado na Figura 29.

Com isto, as comparações com tetos fixos a partir deste ponto no estudo levaram em conta apenas a média entre tetos fixo tipo domo e tipo cônico.

TABELA 14 - COMPARAÇÃO DAS SIMULAÇÕES DE TETOS FIXOS TIPO CÔNICO E DOMO¹

Simulação Número	Teto Tipo Cônico	Perda em massa	Simulação Número	Teto Tipo Domo	Perda em massa	Médias Tetos Fixos	Diferença Percentual
-	ξ [%]	m [lb]	-	ξ [%]	m [lb]	$\bar{\xi}$ [%]	τ [%]
1	2,3	150.642	3	2,4	154.213	2,4	2,3
2	5,5	176.883	4	5,6	179.325	5,5	1,4
7	18,9	1.033.745	9	19,7	1.075.889	19,3	3,9
8	45,9	1.255.540	10	46,4	1.269.086	46,1	1,1
13	5,7	398.366	15	6,0	414.292	5,9	3,8
14	8,9	309.886	16	9,1	316.313	9,0	2,0
19	0,1	5.188	21	0,1	5.244	0,1	1,1
20	0,2	5.677	22	0,2	5.733	0,2	1,0
25	3,7	652.105	27	3,8	660.879	3,8	1,3
26	7,9	687.269	28	7,9	694.002	7,9	1,0
31	31,4	4.644.376	33	31,7	4.692.101	31,6	1,0
32	65,0	4.806.179	34	65,3	4.832.346	65,2	0,5
37	9,7	1.820.918	39	9,8	1.844.241	9,8	1,3
38	20,3	1.902.514	40	20,4	1.916.417	20,4	0,7
43	0,2	23.370	45	0,2	23.679	0,2	1,3
44	0,3	24.685	46	0,3	24.993	0,3	1,2
49	2,6	918.203	51	2,7	933.940	2,7	1,7
50	5,9	1.030.087	52	5,9	1.038.592	5,9	0,8
55	21,1	6.232.625	57	21,5	6.368.870	21,3	2,1
56	46,5	6.885.783	58	46,7	6.915.748	46,6	0,4
61	6,4	2.413.639	63	6,6	2.732.478	6,5	2,3
62	14,5	2.716.661	64	14,6	2.732.571	14,5	0,6
67	0,1	28.921	69	0,1	29.204	0,1	1,0
68	0,2	31.556	70	0,2	31.836	0,2	0,9
73	2,7	1.872.953	75 ²	2,8	1.933.082	2,7	3,1
74	6,0	2.109.362	76 ²	6,1	2.145.584	6,1	1,7
79	21,7	12.829.063	81 ²	22,5	13.330.592	22,1	3,8
80	48,1	14.244.313	82 ²	48,6	14.384.629	48,4	1,0
85	6,6	4.942.905	87 ²	6,9	5.155.098	6,7	4,1
86	15,0	5.614.012	88 ²	15,2	5.686.926	15,1	1,3
91	0,1	61.871	93 ²	0,1	63.208	0,1	2,1
92	0,2	68.272	94 ²	0,2	69.598	0,2	1,9
97	2,4	3.314.216	99 ²	2,6	3.643.906	2,5	9,0
98	5,5	3.847.238	100 ²	5,8	4.048.087	5,7	5,0
103	18,8	22.281.966	105 ²	21,4	25.315.865	20,1	12,0
104	44,7	26.442.265	106 ²	46,1	27.262.886	45,4	3,0
109	5,8	8.631.144	111 ²	6,3	9.448.052	6,0	8,6
110	13,9	10.407.544	112 ²	14,2	10.669.499	14,0	2,5
115	0,1	111.627	116 ²	0,1	115.671	0,1	3,5
117	0,2	124.474	118 ²	0,2	128.488	0,2	3,1
						Média	1,6%

FONTE: O Autor (2015)

NOTAS:

¹ Os resultados levam em conta as premissas apresentadas em 3.2.2, num total de 80 simulações (pois neste ponto não são analisadas as 40 simulações de teto flutuante interno).

² Os resultados destas simulações são teóricos, com tanques fora de medidas construtivas, conforme visto no Quadro 3-c.

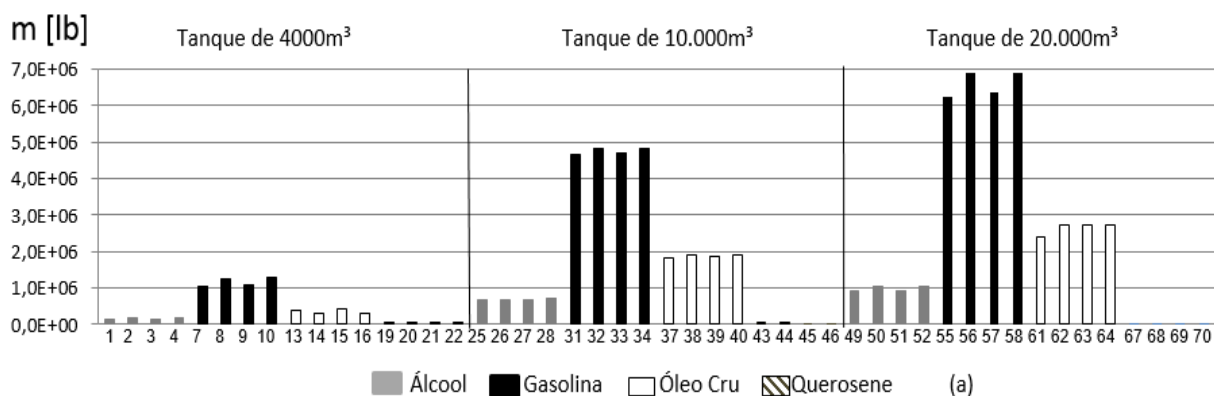


FIGURA 28 - PERDAS DE PRODUTO EM TANQUES DE TETO FIXO DOMO E CÔNICO (lb)
 FONTE: O Autor (2015)

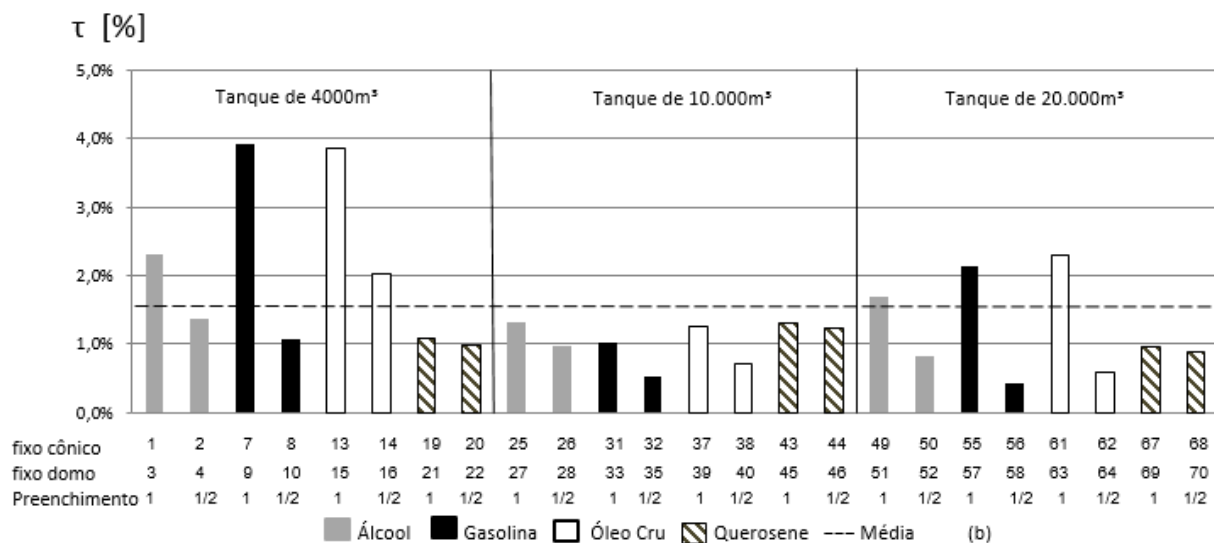


FIGURA 29 - RELAÇÃO DE PERDAS PERCENTUAIS EM TANQUES DE TETO FIXO DOMO E CÔNICO (%)

NOTAS:

FONTE: O Autor (2015)

4.2.2 Relação de perda em função da utilização do teto flutuante interno

De forma análoga ao item 4.2.2, para possibilitar a comparação entre as simulações cuja única característica diferente foi a aplicação do teto flutuante interno, foram selecionadas e agrupadas, as médias das simulações de tetos fixos (item 4.2.2) e a simulação correspondente com o teto flutuante interno, de acordo com a Equação 19. Os resultados estão apresentados na Tabela 15.

TABELA 15 - COMPARATIVO DE TANQUES DE TETOS FIXO COM E SEM TETO FLUTUANTE

Simulações Número	Perda percentual média Tetos Fixos	Perda em massa	Simulação Número	Perda percentual Teto Flutuante	Perda em massa	Ganho Percentual	Média
-	$\bar{\xi}_{\text{fixo}} [\%]$	m [lb]	-	$\xi_{\text{flutuante}} [\%]$	m [lb]	G_n [%]	\bar{G}_n [%]
1 - 3	2,4	152.428	5	2,7	171.922	-12,8	0±34
2 - 4	5,5	178.104	6	5,3	171.914	3,5	
7 - 9	19,3	1.054.817	11	25,7	1.406.801	-33,4	
8 - 10	46,1	1.262.313	12	51,4	1.406.795	-11,4	
13 - 15	5,9	406.329	17	3,9	267.397	34,2	
14 - 16	9,0	313.099	18	7,7	267.366	14,6	
19 - 21	0,1	5.216	23	0,1	5.330	-2,2	
20 - 22	0,2	5.705	24	0,2	5.301	7,1	
25 - 27	3,8	656.492	29	1,2	211.091	67,8	72±10
26 - 28	7,9	690.635	30	2,4	211.080	69,4	
31 - 33	31,6	4.668.238	35	11,7	1.727.280	63,0	
32 - 34	65,2	4.819.263	36	23,4	1.727.271	64,2	
37 - 39	9,8	1.832.580	41	1,8	328.330	82,1	
38 - 40	20,4	1.909.466	42	3,5	328.282	82,8	
43 - 45	0,2	23.524	47	0,0	6.561	72,1	
44 - 46	0,3	24.839	48	0,1	6.517	73,8	
49 - 51	2,7	926.072	53	0,6	208.963	77,4	76±4
50 - 52	5,9	1.034.339	54	1,2	208.943	79,8	
55 - 57	21,3	6.300.748	59	5,8	1.709.692	72,9	
56 - 58	46,6	6.900.766	60	11,6	1.709.676	75,2	
61 - 63	6,5	2.573.059	65	1,8	684.016	72,0	
62 - 64	14,5	2.724.616	66	3,6	683.952	74,9	
67 - 69	0,1	29.062	71	0,0	6.590	77,3	
68 - 70	0,2	31.696	72	0,0	6.498	79,5	
73 - 75	2,7	1.903.017	77	0,3	235.685	87,6	89±4
74 - 76	6,1	2.127.473	78	0,7	235.656	88,9	
79 - 81	22,1	13.079.828	83	3,3	1.957.043	85,0	
80 - 82	48,4	14.314.471	84	6,6	1.957.018	86,3	
85 - 87	6,7	5.049.002	89	0,5	373.874	92,6	
86 - 88	15,0	5.650.469	90	1,0	373.749	93,4	
91 - 93	0,1	62.540	95	0,0	7.688	87,7	
92 - 94	0,2	68.935	96	0,0	7.657	88,9	
97 - 99	2,5	3.479.061	101	0,2	294.413	91,5	92±3
98 - 100	5,7	3.947.662	102	0,4	294.373	92,5	
103 - 105	20,1	23.798.915	107	2,1	2.444.639	89,7	
104 - 106	45,4	26.852.576	108	4,5	2.653.100	90,1	
109 - 111	6,0	9.039.598	113	0,3	467.057	94,8	
110 - 112	14,0	10.538.521	114	0,7	501.993	95,2	
115 - 116	0,1	113.649	118	0,0	9.612	91,5	
117 - 118	0,2	126.481	120	0,0	10.676	91,6	

FONTE: O Autor (2015)

Com base nos dados da Tabela 15 foi possível observar que para o tanque de 4000 m³, ou seja, os de pequeno diâmetro. As perdas típicas de tetos flutuantes internos estão equiparadas em relação às perdas típicas dos tetos fixos (média de ganho percentual de 0±34%). Vale salientar que para as primeiras simulações alguns resultados foram negativos, os quais

representam uma perda com a aplicação do teto flutuante interno podendo atingir até 33,4%.

Estes resultados indicam que nestes casos a aplicação de teto flutuante interno não apresenta eficiência em relação a tanques sem este dispositivo objetivando a redução de perdas por emissão. Desde que as premissas adotadas no item 3.2.2 sejam mantidas.

Porém, para os resultados positivos, que indicam um ganho de eficiência com a aplicação de teto flutuante, conforme Equação 21, podendo chegar a um máximo de 95,2% para os tanques de maiores dimensões.

Para detalhar melhor as diferenças entre tetos fixos com e sem a aplicação de teto flutuante, foram elaboradas as Figuras 30 e 31 apenas para os tanques de 10.000 m³, 20.000 m³, 40.000 m³ e 80.000 m³.

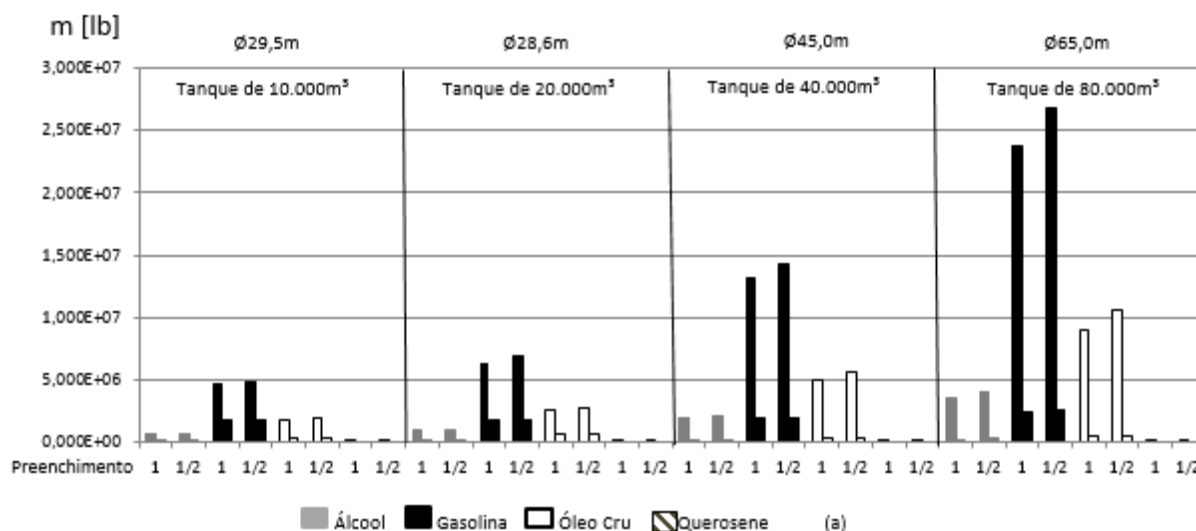


FIGURA 30 - RELAÇÃO DE PERDAS DE PRODUTO EM TANQUES COM E SEM TETO FLUTUANTE (lb)

FONTE: O Autor (2015)

NOTAS: Resultados das simulações em massa (lb), por ano.

Na Figura 30 estão apresentados os resultados para cada produto em uma configuração de tanque cheio (1) e outra pela metade (1/2), e cada simulação foi realizada com e sem teto flutuante aplicado. Pela Figura 30 se verificou que a perda em massa para tanques sem teto flutuante interno aplicado cresce exponencialmente quando para tanques com teto flutuante mantêm-se estável. Destas perdas, em massa, as mais significativas foram para a gasolina.

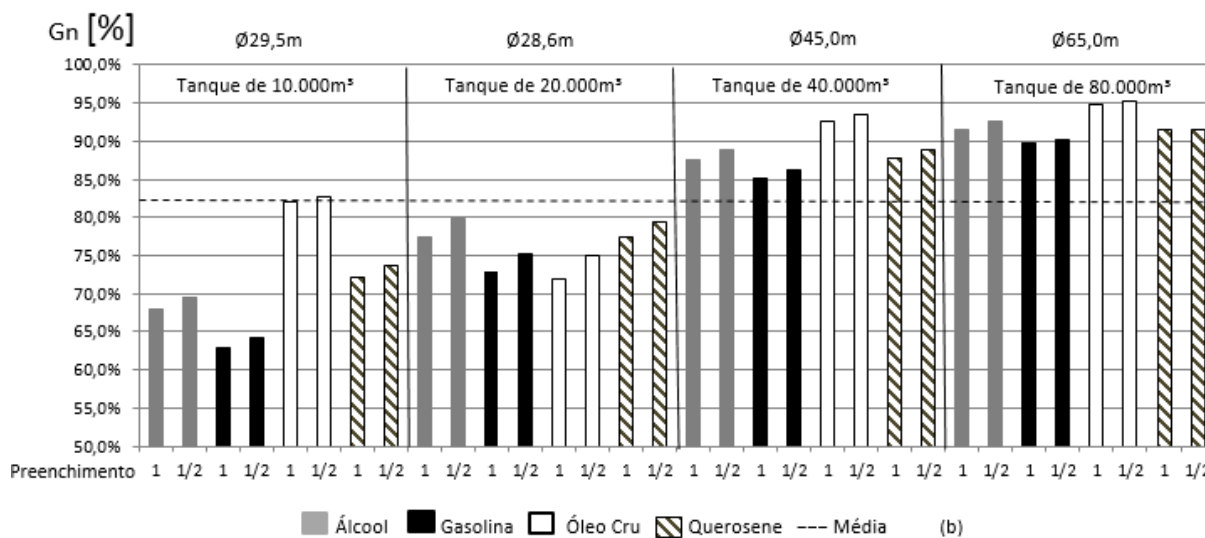


FIGURA 31 - RELAÇÃO DE GANHOS PERCENTUAIS DE TANQUES COM E SEM TETO FLUTUANTE (%)
 FONTE: O Autor (2015)

Pela Figura 31 e Tabela 15 foi possível verificar que com o aumento do volume armazenado, a redução nas emissões com a aplicação do teto flutuante crescem, chegando em 92% (máximo), com uma média de 82%.

Como foram realizadas duas simulações para cada tipo de produto (um com o tanque em seu volume máximo operacional e um com o tanque na metade de sua capacidade nominal), observou-se que, independente das alterações das demais variáveis, os resultados com o tanque na metade de sua capacidade proporcionaram um percentual de perda maior do que quando o tanque está com sua capacidade de armazenamento total, isto é ocasionado por seu maior “volume vazio”.

As funções que regem estes fenômenos foram analisadas em relação ao volume de produto armazenado no tanque, e serão abordados no item 4.2.4.

4.2.3 Influência do volume de preenchimento das perdas por emissão fugitiva

Conforme foi possível identificar no item 4.2.2, a capacidade de armazenamento do tanque e o volume armazenado no mesmo exerce uma

grande influência nas perdas do tanque.

Além da variação operacional dos tanques, sempre haverá um volume vazio, ocasionado pelo dimensionamento do tanque em relação à sua capacidade nominal.

Assim, quanto mais próxima a altura máxima operacional da altura nominal do tanque (Figura 32), conseqüentemente menor será a perda percentual.

Para analisar melhor estas alterações, os resultados das perdas tanto para tetos fixos com e sem tetos flutuantes internos foram organizados como se segue:

- a) Por tipo de produto.
- b) Estabelecendo limites de nível de preenchimento superiores e inferiores. Com tanque em sua capacidade de armazenamento máxima e intermediária, onde o limite superior da perda foi quando o tanque estivesse com sua capacidade intermediária e o limite inferior foi quando estivesse com sua capacidade nominal, como apresentado na Figura 31.

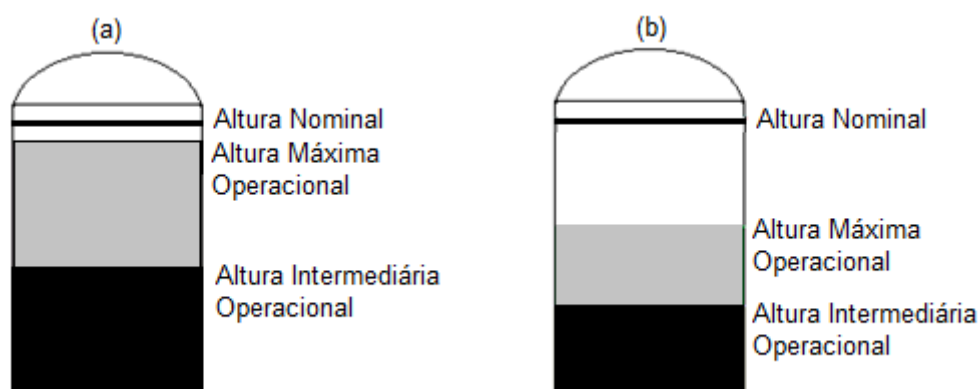


FIGURA 32 - PROPORÇÃO E ENTRE TANQUES DE DIFERENTES VOLUMES DE OPERAÇÃO

a) Situação similar aos tanques simulados com 4.000, 20.000, 40.000 e 80.000 m³

b) Situação similar ao tanque simulado com 10.000m³

FONTE: O Autor (2015)

Assim sendo, os resultados obtidos foram organizados e estão apresentados na Tabela 16, cujos dados estão representados graficamente na Figura 33.

A partir da Tabela 16 e Figura 33 foi possível observar que os limites de perdas superiores e inferiores trazem um grande impacto nas emissões em tanques que não possuem tetos flutuantes internos, independentemente do seu volume ou diâmetro.

Os resultados das simulações indicaram um valor de perda duas vezes maior em tanques cuja quantidade de preenchimento era intermediária. Este resultado demonstrou que quando se duplica o volume de combustível armazenado, aproximando-se da capacidade nominal do tanque, as perdas proporcionais são reduzidas pela metade, embora a perda em massa seja similar, conforme apresentado nas Tabelas 14 e 15.

Para os tanques com teto flutuante interno, essa diferença de volume de produto armazenado foi desprezível e as perdas foram mais controladas. A aplicação de teto flutuante interno reduziu e estabilizou a emissão (perdas superficiais), fazendo com que as mesmas se mantivessem próximas, independente da condição de volume de operação do tanque. Com isso, a tolerância para as perdas por teto flutuante também variaram com as medidas do tanque, ficando menores a medida que se aumenta o tamanho (principalmente diâmetro) do tanque.

O perfil das curvas de perda para tanques com ou sem teto flutuante interno são similares entre si (Figura 33), porém o percentual de perda para cada tipo de combustível diferiu. Esta diferença no percentual de perda é uma consequência direta do tipo de produto, a qual é influenciada por seu ponto de fulgor, que será discutido no Item 4.2.6.

O perfil da curva para tanques com tetos flutuantes internos seguiu precisamente uma distribuição potencial e pôde ser facilmente equacionada. Porém o perfil da curva para tanques sem teto flutuante interno apresentou um ponto máximo nos tanques de 10.000 m³, o que impossibilitou um equacionamento simplificado. O ponto máximo obtido (10.000 m³) indicou que a variável “volume vazio” adotado não seguiu o mesmo critério nas demais simulações realizadas.

TABELA 16 - RESULTADOS ORGANIZADOS POR LIMITE DE TANQUE CHEIO E INTERMÉDIO

Produto	Percentual de Enchimento	Volume	Volume	Volume	Volume	Volume	Volume	Volume	Volume	Volume	Volume
		4.000m ³	10.000m ³	20.000m ³	40.000m ³	80.000m ³	4.000m ³	10.000m ³	20.000m ³	40.000m ³	80.000m ³
		Perdas Percentuais ξ (Teto Fixo Sem Flutuante) ¹					Perdas Percentuais ξ (Teto Fixo Com Flutuante)				
Álcool	100%	2,36%	3,76%	2,65%	2,72%	2,49%	2,66%	1,21%	0,60%	0,34%	0,21%
	75% ²	3,94%	5,83%	4,29%	4,41%	4,07%	3,99%	1,81%	0,90%	0,51%	0,32%
	50%	5,51%	7,91%	5,92%	6,09%	5,65%	5,32%	2,42%	1,20%	0,67%	0,42%
Gasolina	100%	19,27%	31,56%	21,30%	22,10%	20,11%	25,70%	11,68%	5,78%	3,31%	2,07%
	75% ²	32,70%	48,35%	33,97%	35,24%	32,74%	38,55%	17,51%	8,67%	4,96%	3,27%
	50%	46,12%	65,15%	46,65%	48,38%	45,38%	51,40%	23,35%	11,56%	6,61%	4,48%
Óleo Bruto	100%	5,86%	9,77%	6,51%	6,73%	6,02%	3,85%	1,75%	1,82%	0,50%	0,31%
	75% ²	7,44%	15,07%	10,52%	10,85%	10,04%	5,78%	2,63%	2,73%	0,75%	0,49%
	50%	9,02%	20,36%	14,53%	15,06%	14,05%	7,71%	3,50%	3,65%	1,00%	0,67%
Querosene	100%	0,10%	0,16%	0,10%	0,11%	0,10%	0,10%	0,04%	0,02%	0,01%	0,01%
	75% ²	0,15%	0,25%	0,16%	0,17%	0,15%	0,15%	0,07%	0,03%	0,02%	0,01%
	50%	0,21%	0,34%	0,21%	0,23%	0,21%	0,19%	0,09%	0,04%	0,03%	0,02%

Notas:

¹ – Média de perdas em tetos fixos cônico e domo² – Média entre as perdas simuladas com 100% e 50% de enchimento do tanque em relação à sua capacidade nominal.

FONTE: O Autor (2015)

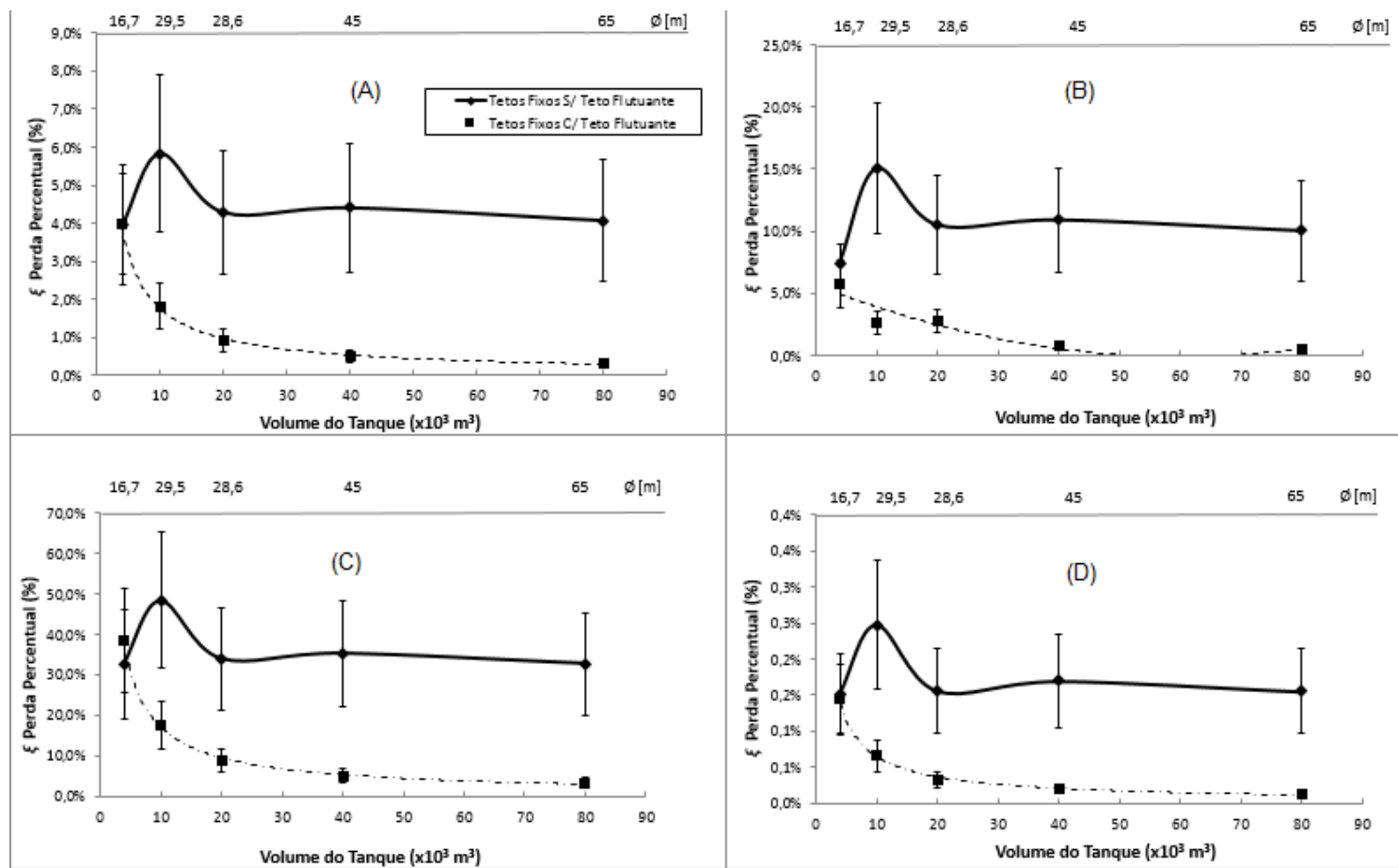


FIGURA 33 - RESULTADOS ORGANIZADOS COM LIMITES DE TANQUE CHEIO E INTERMÉDIÁRIO
 (A) – ÁLCOOL, (B) – ÓLEO CRU, (C) – GASOLINA, (D) - QUEROSENE
 FONTE: O Autor (2015)

Para melhor avaliar a influência do volume vazio nos resultados obtidos, foi elaborada a Tabela 17 a qual apresenta o percentual ocupado pelos volumes nominais e intermediários de cada tanque das simulações realizadas neste estudo, em relação à capacidade total.

O percentual de volume vazio (P_v) foi obtido pela Equação 24.

$$P_v = (V_c - \Psi) / V_c \quad (24)$$

Onde V_c é a capacidade volumétrica total do tanque, calculada a partir de seu diâmetro e altura máxima e Ψ é o volume operacional do tanque, calculado com o diâmetro e altura operacional.

TABELA 17 - VERIFICAÇÃO DO VOLUME VAZIO PROPORCIONAL EM CADA TANQUE

Condição	Diâmetro D [m]	Altura H [m]	Volume nominal V [m ³]	Capacidade total calculada V_c [m ³]	Altura operacional h [m]	Volume operacional V [m ³]	Percentual de volume vazio [%]
1	16,7	18,5	4.000	4.050	8,4	1.850	54%
					16,9	3.700	9%
2	29,5	25	10.000	17.090	7,3	5.000	71%
					14,6	10.000	41%
3	28,6	35	20.000	22.490	15,6	10.000	56%
					31,1	20.000	11%
4	45	28,8	40.000	45.805	12,6	20.000	56%
					25,2	40.000	13%
5	65	25	80.000	82.960	12,1	40.000	52%
					24,1	80.000	4%

FONTE: O Autor (2015)

Com os dados da Tabela 17 foi possível perceber que no tanque de 10.000 m³ (destacado) o aproveitamento do espaço interno foi menor que os demais tanques, ou seja, apresentou percentual de volume vazio maior.

Esta observação pode ser melhor visualizada no perfil do percentual do volume vazio, como ilustrado na Figura 34.

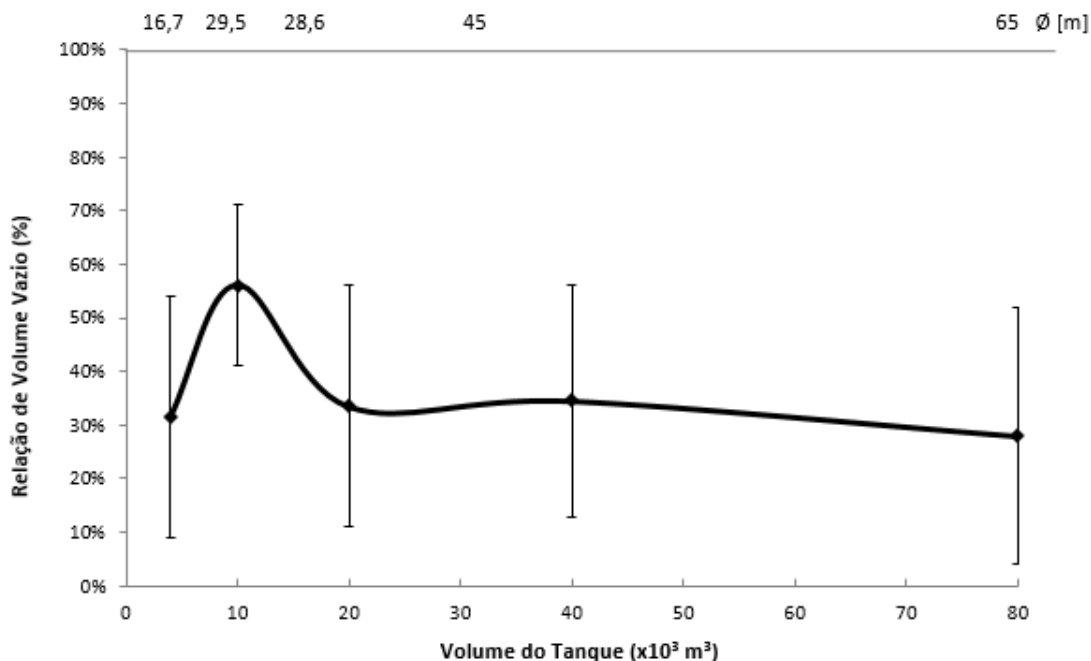


FIGURA 34 - RELAÇÃO DE VOLUME VAZIO
 FONTE: O Autor (2015)

Com isso, foi possível perceber que o ponto máximo verificado na Condição 2 (Tabela 17) era na verdade uma consequência de um aproveitamento inadequado da capacidade total do tanque de 10.000 m³.

Para se obter um perfil em que todos os tanques estivessem com o preenchimento do tanque com valores similares foram realizadas simulações para tanques com volume nominal (V) de 15.000 m³ o que possibilitou a construção da Tabela 18.

Para tanto, foram necessário novas simulações para o tanque de volume nominal de 15.000 m³ com $D = 29,5$ m e $H = 25$ m. Os resultados destas simulações encontram-se no APÊNDICE I – f.

Esta alteração foi realizada para possibilitar a formulação de um modelo genérico, pois nem sempre na prática é possível aproveitar a capacidade total calculada (V_c) do tanque, por questões de segurança, incêndios, características particulares do produto, construção do tanque, operação e mercado.

TABELA 18 - ALTERAÇÃO DO TANQUE DE 10.000 m³ PARA 15.000 m³ PARA EFEITO DE CÁLCULO

Condição	Diâmetro D [m]	Altura H [m]	Volume nominal V [m ³]	Capacidade total calculada V_c [m ³]	Altura operacional h [m]	Volume operacional V_o [m ³]	Percentual de volume vazio [%]
1	16,7	18,5	4.000	4.050	8,4	1.850	54%
					16,9	3.700	9%
2	29,5	25	15.000	17.090	11,9	7.500	56%
					21,9	15.000	12%
3	28,6	35	20.000	22.490	15,6	10.000	56%
					31,1	20.000	11%
4	45	28,8	40.000	45.805	12,6	20.000	56%
					25,2	40.000	13%
5	65	25	80.000	82.960	12,1	40.000	52%
					24,1	80.000	4%

FONTE: O Autor (2015)

Com a Condição 2 (Tabela 18) apresentando valores da perda percentual similares as demais condições foi possível obter uma distribuição mais linear das perdas, como mostra a Figura 35.

A partir das simulações, observou-se que o comportamento das perdas para tanques sem teto flutuante interno era praticamente linear e a tendência não era alterada com o tipo de produto armazenado, seguindo um perfil similar para todos os casos avaliados neste trabalho. Isso se deve ao fato de não haver controles para redução de emissão superficial, pois a camada limite entre produto armazenado e camada de vapor está livre para trocas.

O comportamento da curva para tanques com teto flutuante interno não se alterou. O ponto foi deslocado no eixo das abcissas de 10.000 m³ para 15.000 m³, porém a perda também caiu seguindo a curva potencial como havia sido identificada anteriormente. Este comportamento ocorre, pois os tanques com teto flutuante interno não são afetados pelo “volume vazio”.

Com base nestas informações foi possível descrever uma relação entre o percentual de perdas com o ponto de fulgor do produto armazenado.

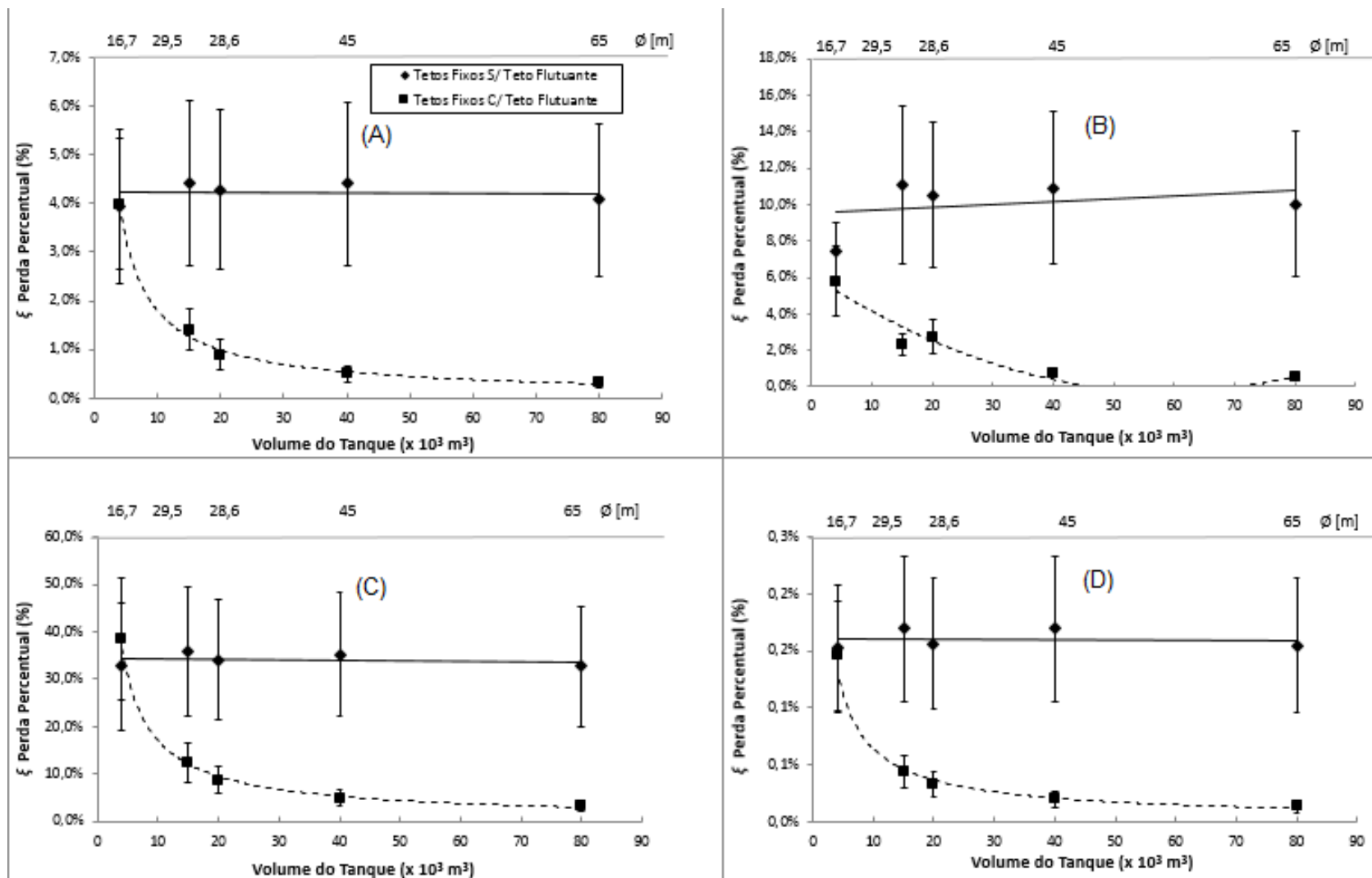


FIGURA 35 - RESULTADOS DE PERDA CORRIGIDOS COM TANQUE DE 15.000m³
 (A) – ÁLCOOL, (B) – ÓLEO CRU, (C) – GASOLINA, (D) - QUEROSENE
 FONTE: O Autor (2015)

4.2.4 Influência das perdas superficiais nas perdas por emissão fugitiva

Primeiramente, em uma análise para tanques sem a aplicação de teto flutuante interno, observando a Figura 35, verificou-se que entre os tanques de 15.000 m³ e 20.000 m³, apesar do diâmetro reduzir, o volume de produto armazenado aumentou e conseqüentemente, as perdas também aumentaram.

Ao se avaliar as perdas proporcionais ao volume armazenado, tem-se uma indicação de que quanto menor o volume operacional, maiores são as perdas do tanque. Porém, com a avaliação de perda absoluta (em massa) foi possível verificar que as perdas não tem uma grande variação com o aumento do volume operacional do tanque. Com isso, operacionalmente torna-se importante utilizar os volumes de armazenamento sempre o mais próximo de sua condição de capacidade máxima.

Em uma segunda análise, para tanques com o teto flutuante aplicado, verificou-se que as perdas foram reduzidas e estabilizadas, pois o tanque passa a operar em uma condição como sempre estivesse em sua capacidade máxima.

De ambas as situações conclui-se que a superfície de troca entre produto e área de vapor no interior do tanque tem grande influência nas perdas por evaporação. Com a redução desta, há uma redução também nas perdas.

4.2.5 Influência do número de ciclos de trabalho nas perdas por emissão fugitivas

A influência do número de ciclos nas perdas foi avaliada a partir de quatro simulações (2 com gasolina e 2 com álcool, com e sem teto flutuante interno), nestas as variáveis foram mantidas constantes, exceto o número de ciclos, os quais foram de 12 (mensal), 54 (semanal) e 121 (uma vez a cada três dias), além dos 365 dias contemplados nas 120 simulações principais. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 19.

TABELA 19 - PERCENTUAIS DE PERDA POR EMISSÃO, COM VARIAÇÕES DO NÚMERO DE CICLOS

Produto	Número de ciclos anuais	Percentual de enchimento	Volume 20.000m ³	
			Perdas percentuais ξ (Teto fixo sem flutuante)	Perdas percentuais ξ (teto fixo Com flutuante)
Álcool	12	100%	0,09%	0,02%
	54	100%	0,39%	0,09%
	121	100%	0,89%	0,21%
	365	100%	2,65%	0,60%
Gasolina	12	100%	1,12%	0,28%
	54	100%	5,01%	1,26%
	121	100%	10,97%	2,95%
	365	100%	33,97%	8,67%

Com os dados apresentados na Tabela 19 foi possível obter os perfis apresentados na Figura 36.

A Figura 36 indica a relação de perdas com o número de ciclos, a qual cresce proporcionalmente e de forma linear. Isto se deve ao número de ciclos estar diretamente relacionado ao volume de produto movimentado em um dado período. Assim, com o dobro de movimentações, haverá o dobro de volume movimentado naquele ano, e conseqüentemente uma duplicação nas perdas por emissões do produto armazenado.

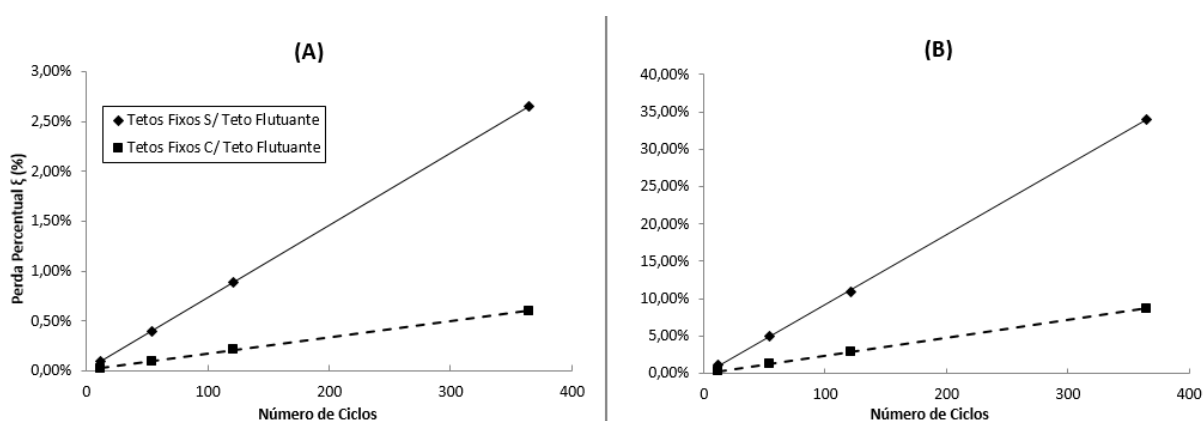


FIGURA 36 - PERDA POR EMISSÃO, COM VARIAÇÕES DO NÚMERO DE CICLOS.

(A) – ÁLCOOL, (B) – GASOLINA

FONTE: O Autor (2015)

4.2.6 Influência do ponto de fulgor do produto armazenado das perdas por emissão fugitivas

Ao agrupar os resultados obtidos nas simulações efetuadas para tanques de teto fixo com e sem teto flutuante interno em dois gráficos distintos, obteve-se as distribuições apresentadas nas Figuras 37 e 38.

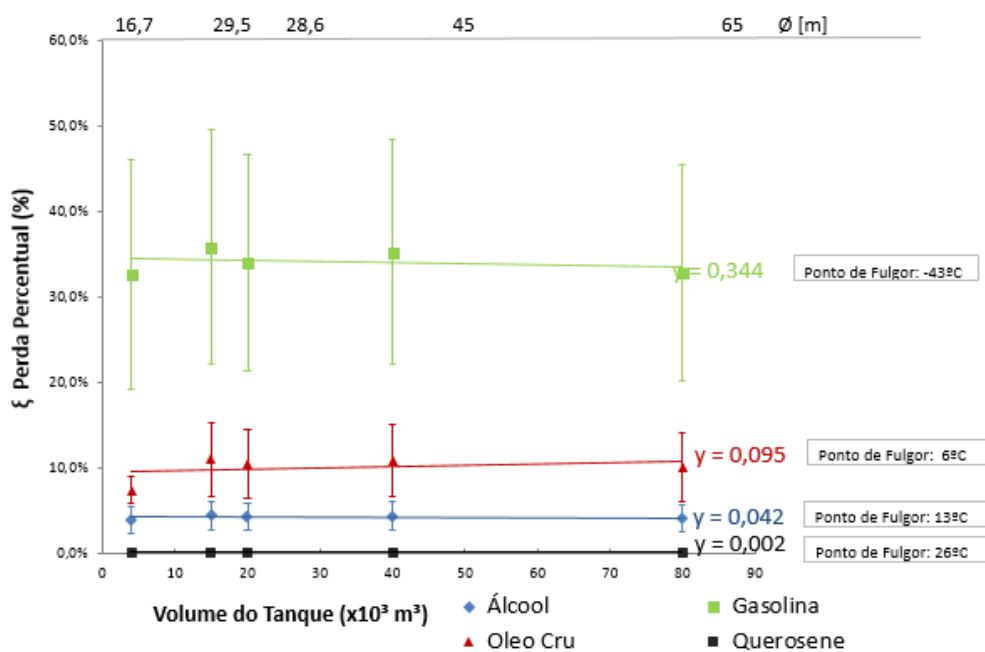


FIGURA 37 - PERDAS EM TANQUES COM TETO FIXO SEM TETO FLUTUANTE, POR PRODUTO. FONTE: O Autor (2015)

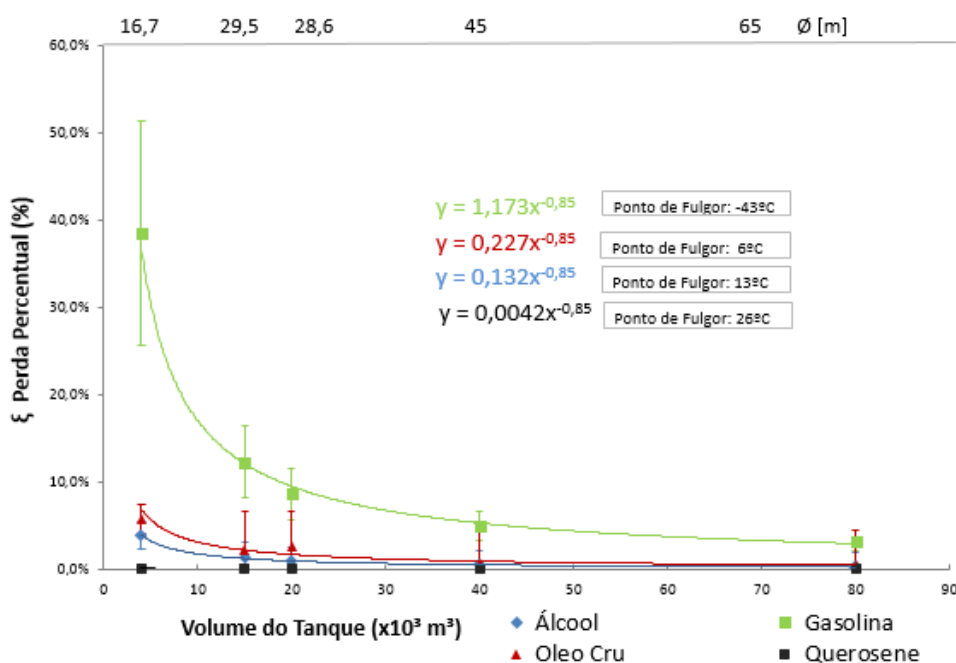


FIGURA 38 - PERDAS EM TANQUES COM TETO FIXO COM TETO FLUTUANTE, POR PRODUTO. FONTE: O Autor (2015)

Analisando as Figuras 37 e 38 foi possível obter uma correlação direta entre o percentual de perdas e ponto de fulgor do produto armazenado no tanque, como mostra a Tabela 20.

TABELA 20 - RELAÇÃO DE PERDAS COM PONTOS DE FULGOR

Material	Ponto de fulgor [°C]	Perda para tanque sem teto flutuante		Perda para tanque com teto flutuante	
		Perda [%]	Desvio padrão	Perda [%]	Desvio padrão
Gasolina	-43	34,4	± 13,1	$1,173V^{-0,85}$	$\pm 0,369V^{-0,82}$
Óleo Cru	6	9,5	± 4,0	$0,227V^{-0,85}$	$\pm 0,065V^{-0,82}$
Álcool	13	4,2	± 1,6	$0,132V^{-0,85}$	$\pm 0,042V^{-0,82}$
Querosene	26	0,2	± 0,1	$0,0042V^{-0,85}$	$\pm 0,001V^{-0,82}$

FONTE: O Autor (2015)

NOTA: V É A CAPACIDADE VOLUMÉTRICA NOMINAL DO TANQUE

A partir da Tabela 20 verificou-se que para tanques sem o teto flutuante interno, foi possível obter uma correlação entre a perda de produto por emissão fugitiva em função do ponto de fulgor do produto armazenado, sem qualquer relação com as dimensões do tanque ou mesmo com o seu volume vazio, devido a linearidade do comportamento dos resultados obtidos.

4.3 DESENVOLVIMENTO DO MODELO MATEMÁTICO

Seguindo a métrica apresentada no item 3.3 e utilizando as observações dos resultados das simulações (item 4.1) foi possível obter equações que permitem prever a perda de produto por emissões fugitivas em tanques nas condições estabelecidas e verificar se existe ou não vantagem na aplicação do teto flutuante interno.

4.3.1 Equacionamento e tolerância das perdas por emissão fugitivas – tetos fixos sem teto flutuante interno

Com as informações obtidas nos gráficos da Figura 38 foi possível correlacionar as perdas por emissão em tanques sem teto flutuante interno e seus limites de tolerância (incremento) com o ponto de fulgor, gerando o gráfico apresentado na Figura 39.

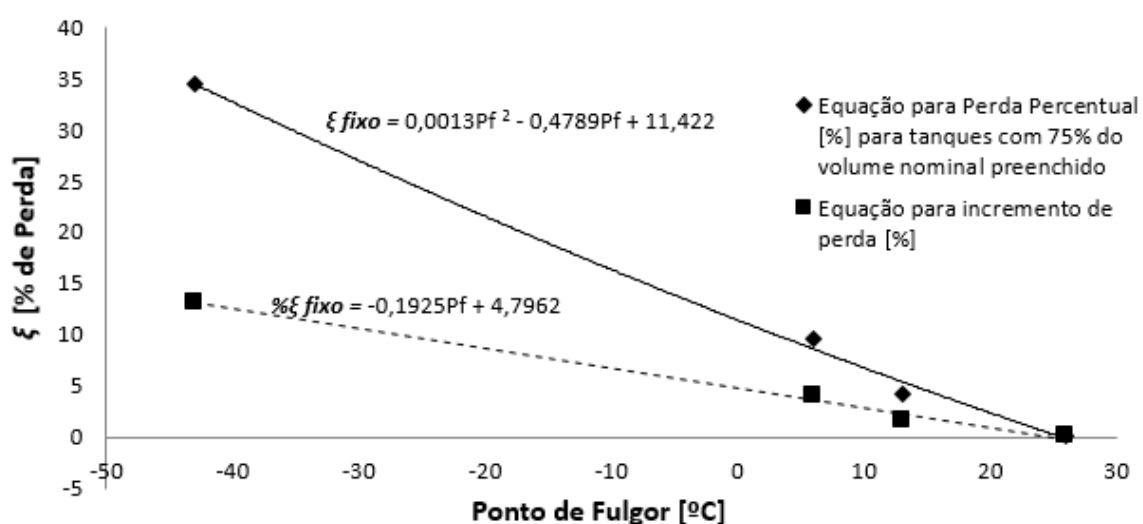


FIGURA 39 - RELAÇÃO DE PERDAS PARA TANQUE SEM TETO FLUTUANTE INTERNO COM O PONTO DE FULGOR
 FONTE: O Autor (2015)

Considerando que no limite de tolerância máximo $\Psi = V$ e que no limite de tolerância mínimo $\Psi = V/2$, e sendo o incremento aplicado a tanques com volume de 50% de preenchimento será positivo, bem como o incremento para tanques com 100% de preenchimento será negativo, pode-se escrever uma equação geral de perdas em tanques sem teto flutuante, como indica a Equação 25.

$$\xi_{Fixo} = (0,0013P_f^2 - 0,4789P_f + 11,4220) + \left[\left(3 - 4 \frac{\Psi}{V} \right) * (4,7962 - 0,1925P_f) \right] \quad (25)$$

Sendo ξ_{Fixo} a perda percentual para teto fixo sem teto flutuante interno, P_f o ponto de fulgor em ($^{\circ}\text{C}$), Ψ o volume nominal em (m^3) e V o volume preenchido em (m^3).

Conforme apresentado no item 3.3.2 ao se comparar os valores inicialmente calculados com os valores encontrados, obtiveram-se respostas com um percentual de erro médio de 28%, para um intervalo de confiança de 97,5% dos resultados, conforme apresentado no APÊNDICE II-b.

Com isso chegou-se a uma equação final para perdas em tetos fixos representada pela Equação 26.

$$\xi_{Fixo} = (0,0013P_f^2 - 0,4789P_f + 11,4220) + \left[\left(3 - 4\frac{\Psi}{V} \right) * (4,7962 - 0,1925P_f) \right] \pm 0,28 * \left\{ (0,0013P_f^2 - 0,4789P_f + 11,4220) + \left[\left(3 - 4\frac{\Psi}{V} \right) * (4,7962 - 0,1925P_f) \right] \right\} \quad (26)$$

4.3.2 Equacionamento e tolerância das perdas por emissão fugitivas – tetos fixos com teto flutuante interno

Analogamente, consideraram-se as variações de perda de tanques com teto flutuante interno, correlacionando suas perdas e limites de tolerâncias (incremento) por correlações com o ponto de fulgor, provenientes de uma correlação dos dados da Tabela 25 e Figura 38, gerando o gráfico apresentado na Figura 40.

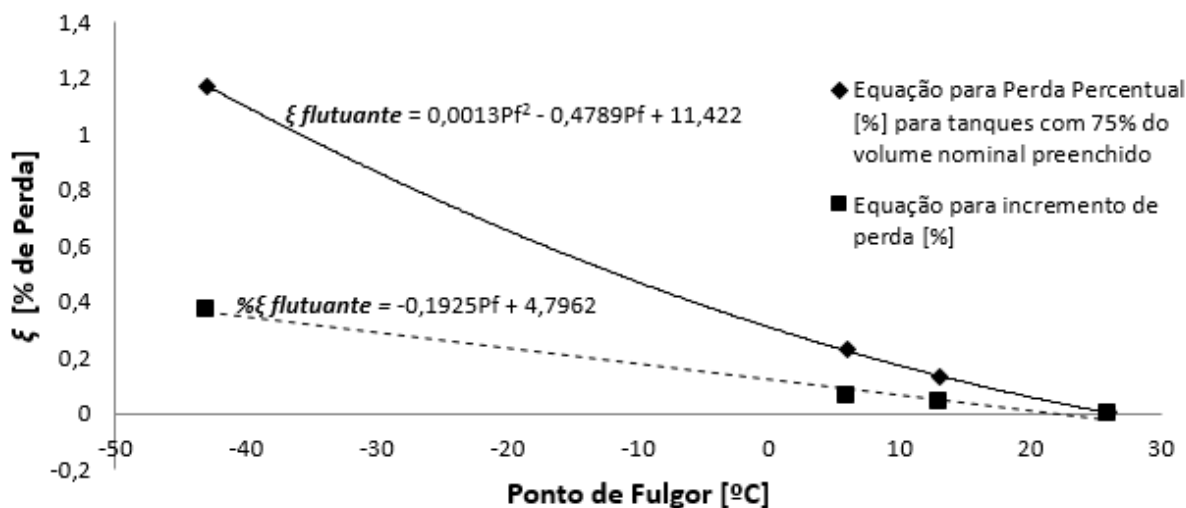


FIGURA 40 - RELAÇÃO DE PERDAS PARA TANQUE COM TETO FLUTUANTE INTERNO SEM O PONTO DE FULGOR
 FONTE: O Autor (2015)

Da mesma forma, considerou-se o limite de tolerância máximo $\Psi = V$ e no limite de tolerância mínimo $\Psi = V/2$. O decréscimo aplicado a tanques com volume de 50% de preenchimento foi espelhado como incremento para tanques com 100% de preenchimento.

Os valores de $V^{-0,85}$ e $V^{-0,82}$ foram considerados valores multiplicativos constantes para linearização da equação e portanto retornaram como fatores multiplicativos na equação final.

Assim foi possível escrever uma equação geral de perdas em tanques com teto flutuante como indica a Equação 27.

$$\xi_{Flutuante} = [(0,0013P_f^2 - 0,4789P_f + 11,4220) * V^{-0,85} + \{[(3 - 4\frac{V}{V}) * (4,7962 - 0,1925P_f)] * V^{-0,82}\}] \quad (27)$$

Analogamente ao limite aplicado à Equação 24 foi considerado o percentual de erro médio de 60% sobre o valor inicial calculado na Equação 26, para o mesmo intervalo de confiança de 97,5% dos resultados, conforme dados apresentados no APÊNDICE II-b.

Com isso chegou-se a uma equação final para perdas em tetos fixos

com tetos flutuantes representada pela Equação 28.

$$\xi_{Flutuante} = [(0,0013P_f^2 - 0,4789P_f + 11,4220) * V^{-0,85} + \{(3 - 4\frac{V}{V}) * (4,7962 - 0,1925P_f)\} * V^{-0,82}] \pm 0,60 * \{[(0,0013P_f^2 - 0,4789P_f + 11,4220) * V^{-0,85} + \{(3 - 4\frac{V}{V}) * (4,7962 - 0,1925P_f)\} * V^{-0,82}\}] \quad (28)$$

Apesar das diferenças da margem de erro de 30% em tanques com tetos fixos e 60% em tanques com tetos flutuantes ser aparentemente grande, estes resultados foram satisfatórios, pois mesmo considerando estes desvios, foi possível fazer um comparativo coerente para decisão de aplicação do teto flutuante interno.

4.3.3 Comparação das perdas por emissão fugitiva obtidas por simulações com *Software Tanks* 4.09d e com o uso do modelo proposto

Com o objetivo de comparar os resultados obtidos com o *Software Tanks* 4.09d e do modelo matemático simplificado proposto nas Equações 25 e 27 (nas premissas estabelecidas no item 3.2.3) e utilizando os dados apresentados no Apêndice II-a foi possível correlacionar os dados, sendo que os resultados para tanques sem teto flutuante interno estão apresentados na Figura 41 e para tanques com teto flutuante interno na Figura 42.

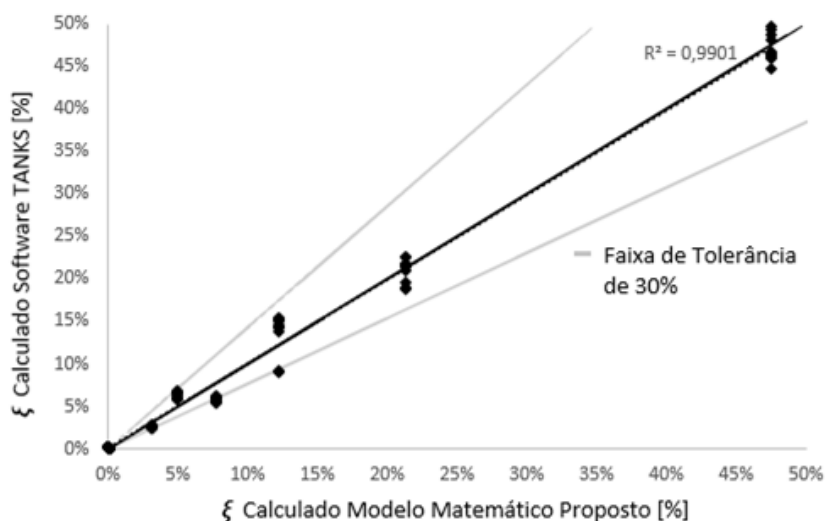


FIGURA 41 – COMPARAÇÃO ENTRE AS PERDAS PERCENTUAIS OBTIDAS UTILIZANDO SOFTWARE TANKS E MODELO MATEMÁTICO SIMPLIFICADO PROPOSTO PARA TANQUES SEM TETO FLUTUANTE INTERNO.
 FONTE: O Autor (2015)

Na figura 41 foi possível observar que as perdas para tanques sem teto flutuante calculadas pelo modelo simplificado tem uma representação muito aproximada dos valores calculados pelo software Tanks 4.09d, respeitando uma faixa de tolerância de 30%. Esta simplificação é possível devido ao fato da distribuição de perdas para tanques sem teto flutuante interno ser praticamente linear na variação entre volumes e ponto de fulgor, como se pode observar na Figura 37.

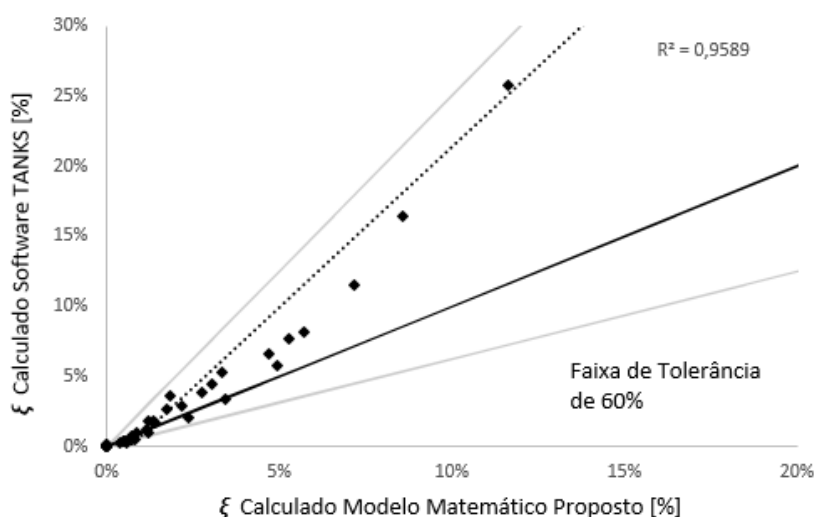


FIGURA 42 – COMPARAÇÃO ENTRE AS PERDAS PERCENTUAIS OBTIDAS UTILIZANDO SOFTWARE TANKS E MODELO MATEMÁTICO SIMPLIFICADO PROPOSTO PARA TANQUES COM TETO FLUTUANTE INTERNO.
 FONTE: O Autor (2015)

Na figura 42, foi possível observar que os resultados das perdas para tanques com teto flutuante interno calculadas pelo modelo simplificado tem uma representação que se afasta dos valores calculados pelo software Tanks 4.09d para perdas acima de 5%, proporcionando uma uma faixa de tolerância de 60%. Na figura 36 verifica se que estas situações ocorrem em tanques de menor diâmetro, onde a região do perfil de curvas sofre uma redução abrupta, potencializada para produtos de menor ponto de fulgor. Por outro lado, observa-se que apesar da tolerância do resultado ser menos precisa que para o cálculo simplificado para tanques sem o teto flutuante, o resultado em perdas para os tanques com teto flutuante é em maioria menor, o que ainda permite uma análise preliminar da redução de perdas com a aplicação do teto, que é um dos objetivos deste trabalho.

Os resultados encontrados nas simulações feitas no *Software* TANKS 4.09d quando comparados com o modelo proposto (Equações 26 e 28) apresentaram um acerto de 97,5%, como pode ser visto no Apêndice II-b. O resultado é satisfatório para uma redução de mais de 30 variáveis, exigidas no *Software* TANKS, para apenas 3 variáveis consideradas (ponto de fulgor, capacidade nominal e volume armazenado) no modelo proposto neste trabalho.

4.3.4 Fator de correção para o número de ciclos

Conforme foi possível observar no item 4.2.6, as perdas tem uma relação linear e proporcional ao volume movimentado anualmente. Com isso, foi possível criar um fator de ajuste para as Equações 26 e 28 onde a perda por emissão foi multiplicada por um fator que inclui o número de ciclos.

Como todo o equacionamento apresentado anteriormente este fator para o número de ciclos foi elaborado considerando o pior caso (um enchimento e um esvaziamento por dia), assim foi possível corrigir as Equações 26 e 28 apresentadas neste trabalho utilizando a Equação 29.

$$f_n = c / 365 \quad (29)$$

Onde f_n é o fator de ciclos e c é o número de ciclos por ano. Assim, todo o cálculo de perdas por emissão (ξ) pode ser corrigido em função da quantidade de ciclos no ano, conforme apresentado nas Equações 30 e 31.

$$\xi_{Fixo/n} = \xi_{Fixo} * f_n \quad (30)$$

$$\xi_{Flutuante/n} = \xi_{Flutuante} * f_n \quad (31)$$

4.3.5 Avaliação financeira da aplicabilidade de tetos flutuantes internos

Para demonstrar a avaliação financeira de aplicabilidade de tetos flutuantes, foram utilizados os dados de emissão em massa, os quais foram convertidos em volume (L), obtidos por simulação e apresentados no APÊNDICE I, para tanques de 4.000m³, 15.000m³, 20.000m³, 40.000m³, 80.000m³, sendo considerado o volume de preenchimento em 75% da capacidade do tanque.

Usualmente os tempos de retorno (y) devem ser inferiores a 5 anos para atraírem o investimento, pois o tempo de vida útil estimado aos tanques é normalmente de 10 anos, apesar de que com uma manutenção adequada, os tanques podem chegar facilmente a triplicar esta vida útil. Desta forma este estudo foi limitado a 5 anos.

A partir de um levantamento de mercado, realizado pela equipe de suprimentos do grupo VETOR-MATHIAS, com três fornecedores típicos de tetos flutuantes internos foi possível determinar os preços médios de aplicação dos tetos flutuantes internos ($T_{UM\$}$) para os diâmetros de tanques considerados neste estudo. Nestes custos foram contabilizados: projeto, materiais, fabricação e montagem dos tetos flutuantes internos (projeto típico em alumínio, com sustentação por pés, raspadores simples em nylon e um jogo de 10 acabamentos de mastro), impostos e demais índices, para um fornecimento em Curitiba/PR. Os custos de manutenção destes tetos é muito baixo e foi considerado irrelevante. Os custos obtidos estão apresentados na Tabela 21.

TABELA 21 - CUSTOS DE APLICAÇÃO DE TETOS FLUTUANTES INTERNOS

Teto Flutuante Interno		Custo de Aplicação ($T_{UM\$}$)
TQ 4.000m ³	Ø 16,7m	UM \$ 330.000
TQ 15.000m ³	Ø 29,5m	UM \$ 890.000
TQ 20.000m ³	Ø 28,6m	UM \$ 835.000
TQ 40.000m ³	Ø 45,0m	UM \$ 1.275.000
TQ 80.000m ³	Ø 65,0m	UM \$ 2.150.000

FONTE: GRUPO VETOR-MATHIAS, 2015

A partir dos dados do APÊNDICE I, foi possível obter os valores de ganho anual (G_n), os dados de ganho anual a partir da aplicação dos tetos flutuantes internos estão resumidos na Tabela 22.

TABELA 22 - PERCENTUAL DE GANHO ANUAL (G_n)

Produto	Percentual de ganho (%)				
	Volume 4.000 m ³	Volume 15.000 m ³	Volume 20.000 m ³	Volume 40.000 m ³	Volume 80.000 m ³
Álcool	-0,06	4,02	3,39	3,90	3,76
Gasolina	-5,85	30,84	25,30	30,28	29,47
Óleo Bruto	1,66	12,44	7,78	10,10	9,55
Querosene	0,01	0,18	0,12	0,15	0,14

FONTE: O Autor (2015)

A indicação negativa nos tanques de 4.000 m³ indica que a aplicação de tetos flutuantes irá proporcionar uma perda por emissão superior ao tanque sem o teto flutuante, desde que as premissas adotadas no item 3.1.1 sejam atendidas.

A partir do ganho anual (G_n), volume armazenado e valores unitários de cada produto ($U_{UM\$}$) apresentados na Tabela 16 foram comparados os custos de aplicação ($T_{UM\$}$) com os ganhos por redução de emissão dos produtos ($P_{UM\$}$). Estes resultados estão apresentados na Tabela 23.

Analisando a Tabela 23 foi possível perceber que, para as premissas adotadas, a aplicação de teto flutuante interno em tanques de 4.000 m³ não seria indicada para tanques de armazenamento de álcool e gasolina por não trazerem redução de emissão fugitiva e também não seria indicado para os tanques de armazenamento de óleo diesel e querosene, por não trazerem retorno do investimento no prazo de 5 anos.

TABELA 23 - COMPARATIVO – GANHOS ANUAIS *VERSUS* CUSTO DE APLICAÇÃO

Produto		VOLUME [m ³]				
		4.000	15.000	20.000	40.000	80.000
		T _{UM\$} = 328.559,54	T _{UM\$} = 888.540,58	T _{UM\$} = 835.151,57	T _{UM\$} = 1.272.345,02	T _{UM\$} = 2.156.899,71
Álcool	U_{UM\$} = 1,89 [\$uM / L]	P_{UM\$}				
	1	\$ -	\$ 1.140.145,97	\$ 1.281.465,47	\$ 2.949.965,40	\$ 5.677.664,62
	2	\$ -	\$ 2.280.291,94	\$ 2.562.930,94	\$ 5.899.930,81	\$ 11.355.329,24
Anos (y)	3	\$ -	\$ 3.420.437,91	\$ 3.844.396,41	\$ 8.849.896,21	\$ 17.032.993,86
	4	\$ -	\$ 4.560.583,88	\$ 5.125.861,88	\$ 11.799.861,61	\$ 22.710.658,48
	5	\$ -	\$ 5.700.729,85	\$ 6.407.327,35	\$ 14.749.827,01	\$ 28.388.323,10
Gasolina	U_{UM\$} = 2,70 [\$uM / L]	P_{UM\$}				
	1	\$ -	\$ 12.953.122,57	\$ 14.169.964,24	\$ 33.915.104,13	\$ 66.011.172,09
	2	\$ -	\$ 25.906.245,14	\$ 28.339.928,48	\$ 67.830.208,26	\$ 132.022.344,19
Anos (y)	3	\$ -	\$ 38.859.367,71	\$ 42.509.892,72	\$ 101.745.312,39	\$ 198.033.516,28
	4	\$ -	\$ 51.812.490,28	\$ 56.679.856,96	\$ 135.660.416,52	\$ 264.044.688,38
	5	\$ -	\$ 64.765.612,85	\$ 70.849.821,21	\$ 169.575.520,64	\$ 330.055.860,47
Óleo Cru	U_{UM\$} = 0,77 [\$uM / L]	P_{UM\$}				
	1	\$ 51.127,54	\$ 1.436.841,56	\$ 1.198.637,83	\$ 3.110.929,44	\$ 5.879.946,65
	2	\$ 102.255,08	\$ 2.873.683,13	\$ 2.397.275,67	\$ 6.221.858,87	\$ 11.759.893,30
Anos (y)	3	\$ 153.382,62	\$ 4.310.524,69	\$ 3.595.913,50	\$ 9.332.788,31	\$ 17.639.839,95
	4	\$ 204.510,16	\$ 5.747.366,25	\$ 4.794.551,34	\$ 12.443.717,74	\$ 23.519.786,60
	5	\$ 255.637,69	\$ 7.184.207,82	\$ 5.993.189,17	\$ 15.554.647,18	\$ 29.399.733,25
Querosene	U_{UM\$} = 4,50 [\$uM / L]	P_{UM\$}				
	1	\$ 1.143,22	\$ 122.299,78	\$ 110.826,55	\$ 269.822,19	\$ 510.495,82
	2	\$ 2.286,44	\$ 244.599,55	\$ 221.653,10	\$ 539.644,39	\$ 1.020.991,65
Anos (y)	3	\$ 3.429,66	\$ 366.899,33	\$ 332.479,65	\$ 809.466,58	\$ 1.531.487,47
	4	\$ 4.572,88	\$ 489.199,11	\$ 443.306,20	\$ 1.079.288,78	\$ 2.041.983,30
	5	\$ 5.716,10	\$ 611.498,89	\$ 554.132,75	\$ 1.349.110,97	\$ 2.552.479,12

FONTE: O autor (2015)

Porém para os demais tanques, a aplicação do teto flutuante interno seria indicada e apresentou um resultado positivo de investimento no primeiro ano com destaque, em valor de retorno de investimento, para o armazenamento de álcool e gasolina.

4.4 ENSAIOS COM PROTÓTIPOS

A aplicação de tetos flutuantes internos em tanques normalmente são decisões estratégicas dos gerenciadores de parques de tanques, que torna o seu armazenamento mais eficiente e conseqüentemente mais competitivo. Para tanto, as informações práticas de redução nas perdas por emissão normalmente não são divulgadas pelas empresas, o que dificulta o comparativo com as situações reais.

Em trabalhos como o de Martins (2010) a comparação entre situações diversas ocorrendo simultaneamente são raras, pois dificilmente os parques terão dois tanques com características idênticas de construção, operando próximos (mesmas características ambientais) com o mesmo tipo de produto, na mesma altura operacional, sendo um com teto flutuante interno e o outro sem, para que se obtenha um bom comparativo.

Desta forma foram construídos protótipos para este estudo, que segundo Ulrich e Eppinger (2000) tem quatro finalidades, a aprendizagem, a comunicação, a previsão dos custos sob escala e os marcos temporais e as marcações temporais (planejamento).

Os produtos utilizados nos ensaios com protótipos foram gasolina e álcool, que são os que possuem os menores pontos de fulgor entre os produtos analisados nas simulações e conseqüentemente obtiveram as maiores perdas por evaporação, possibilitando as suas leituras a partir dos equipamentos de medição estipulados para estes ensaios.

Os resultados de perda por emissão obtidos experimentalmente com os protótipos estão apresentados na Tabela 24, a partir de ensaios realizados de acordo com o item 3.3 e apresentam-se na íntegra no APÊNDICE III-a.

TABELA 24 – PERDAS POR EMISSÃO EM PROTOTIPOS

V nominal [L]	Combustível	Tipo Teto	PERDA TOTAL	PERDA TOTAL
			ENSAIO	ENSAIO
			m_c [g]	ξ_c [%]
4	Álcool	Fixo Domo	3,0	0,11
			5,0	0,36
		Flutuante	2,0	0,08
	1,0		0,08	
	Gasolina	Fixo Domo	34,0	1,21
			38,0	2,71
Flutuante		15,0	0,60	
	14,0	1,13		
15	Álcool	Fixo Domo	15,0	0,13
			15,0	0,26
		Flutuante	4,0	0,04
	3,0		0,06	
	Gasolina	Fixo Domo	107,0	0,94
			111,0	1,95
Flutuante		28,0	0,28	
	23,0	0,46		
20	Álcool	Fixo Domo	16,0	0,11
			17,0	0,22
		Flutuante	4,0	0,03
	3,0		0,04	
	Gasolina	Fixo Domo	113,0	0,74
			111,0	1,46
Flutuante		28,0	0,21	
	23,0	0,34		

Para comparar os resultados obtidos com os protótipos e no *Software Tanks 4.09d* (U.S.EPA, 2006) foram realizadas simulações em condições similares aos ensaios. Desta forma no *Software Tanks 4.09d* foi alimentado com as características de Curitiba/PR e fator de ciclos corrigidos para o valor $f_c = 12/365$, conforme premissas apresentadas no item 3.4.3.

Os tanques protótipo forma sempre mantidos em uma mesma posição e retirados apenas para se fazer as medições ao final do ensaio.

Os resultados obtidos apresentaram um comportamento qualitativo coerente com as avaliações feitas nos cálculos teóricos apresentados neste trabalho, como por exemplo: uma redução considerável a partir da aplicação de uma membrana flutuante, mesmo os protótipos possuindo uma área de perdas superior ao de um tanque em tamanho real, uma maior manutenção e estabilidade no nível de perdas com a aplicação do teto flutuante, maiores

perdas para o produto de menor ponto de fulgor (gasolina) e o aumento das perdas em massa com o aumento do volume dos tanques.

Para se comparar quantitativamente os resultados dos ensaios com os dados de perdas percentuais obtidos pelo *software* e também com as perdas utilizando o modelo proposto neste trabalho (Equações 18 e 20), foram executados os cálculos para as mesmas condições dos ensaios com protótipos. Os resultados estão apresentados na Figura 43, organizada em 4 gráficos mostrando os resultado para gasolina, álcool, com e sem o teto flutuante aplicado.

Na Figura 43 A e B, em que se apresentam as perdas para protótipos sem o teto flutuante aplicado, observa-se que os perfis das curvas do ensaio não apresentam o perfil linear e constante previstos nas equações do modelo proposto nem tampouco o perfil previsto pelo *software Tanks 4.09d*. O perfil dos ensaios sugere uma redução gradual das perdas proporcionais com o aumento do volume dos tanques. Apesar de haver uma proximidade entre os valores dos modelos matemáticos e dos ensaios, foi possível observar que a dependência dos resultados do modelo simplificado proposto com o ponto de fulgor é determinante na análise dos resultados, sendo os resultados para a gasolina mais assertivos que os resultados para o álcool.

Em uma segunda análise, para os tanques com tetos flutuantes internos (Figura 43 C e D) foi possível identificar uma aproximação maior entre as curvas do modelo matemático proposto com os ensaios, sugerindo que o perfil de distribuição dos pontos nas curvas de perdas por emissão previsto na metodologia do AP-42 Seção 7.1, que é base para os cálculos do *Software TANKS 4.09d* pode ser reavaliado, pois segundo a métrica proposta pelo *Software TANKS 4.09d*, tanques com diâmetros muito pequenos com teto flutuante interno teriam perdas muito grandes, inclusive inviabilizando os ensaios em protótipos. O perfil dos resultados do protótipo está mais aproximado do perfil calculado pelo modelo matemático simplificado apresentado neste trabalho.

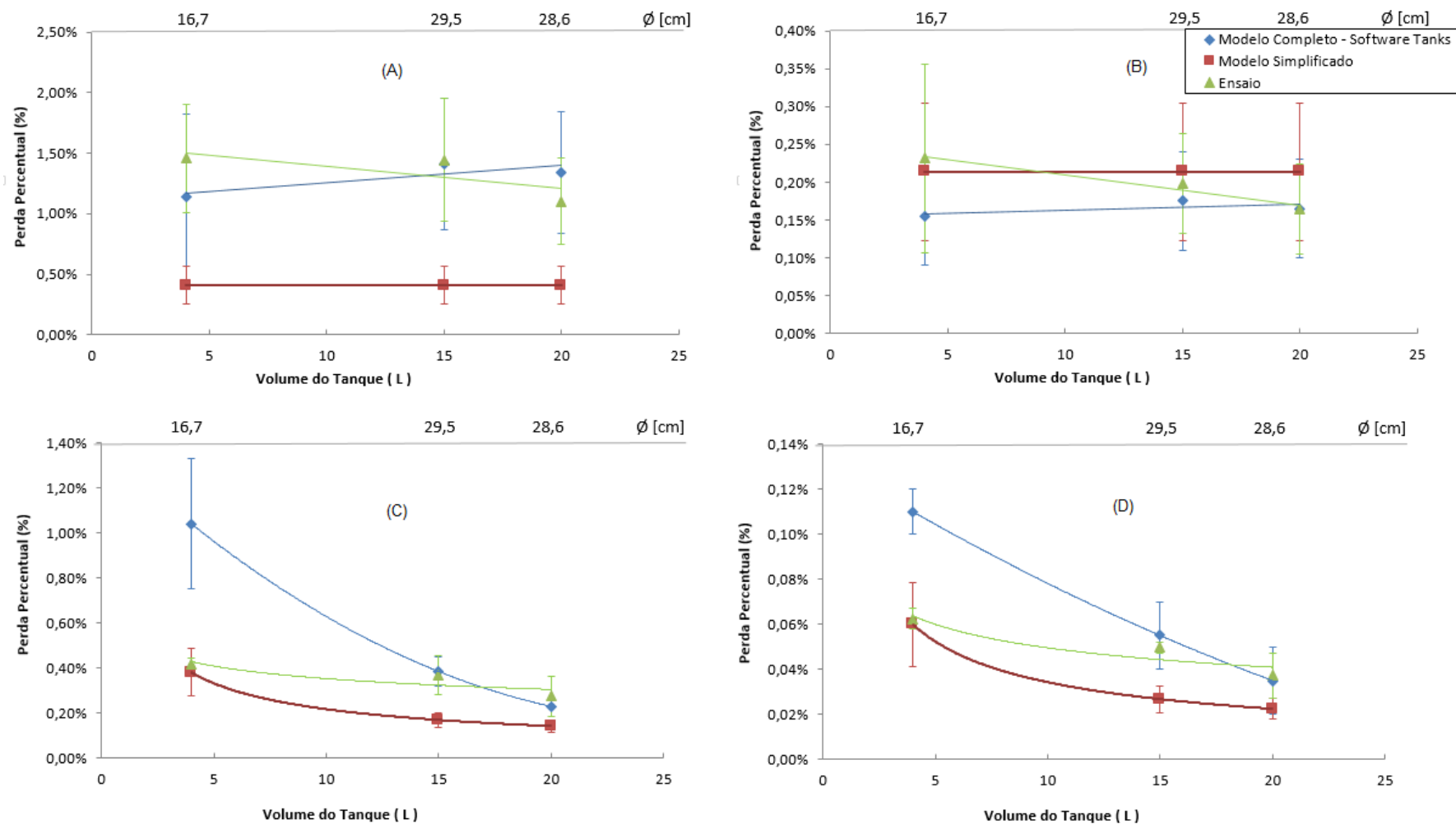


FIGURA 43 - COMPARATIVOS DE PERDAS PREVISTAS PELA SIMULAÇÃO DO SOFTWARE TANKS, MODELAMENTO MATEMÁTICO E ENSAIOS
 (A) ÁLCOOL SEM TETO FLUTUANTE INTERNO; (B) GASOLINA SEM TETO FLUTUANTE INTERNO;
 (C) ÁLCOOL COM TETO FLUTUANTE INTERNO; (D) GASOLINA COM TETO FLUTUANTE INTERNO
 FONTE: O Autor (2015)

Na Figura 44 podemos observar a relação quantitativa entre os resultados obtidos entre os ensaios de protótipo e *software Tanks 4.09d*. Os resultados obtidos no menor protótipo com o teto flutuante aplicado, e que podem ser observados na Figura 43 C e D foram os que mais se afastaram da previsão do software, fazendo com que a relação média da nuvem de distribuição também ficasse afastada do esperado.

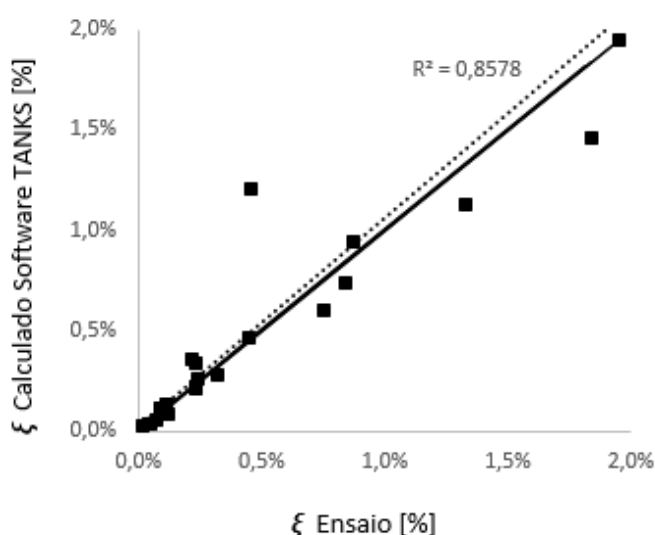


FIGURA 44 – COMPARAÇÃO DO PERCENTUAL DE PERDAS OBTIDOS EXPERIMENTALMENTE E PELO SOFTWARE TANKS
 FONTE: O Autor (2015)

Na Figura 45, comparam-se os resultados obtidos entre os ensaios de protótipo e modelo matemático proposto. Neste comparativo tivemos um comportamento mais aproximado tanto nos resultados sem o teto flutuante como com ele, fazendo com que a média da dispersão fosse mais aproximada do comportamento esperado.

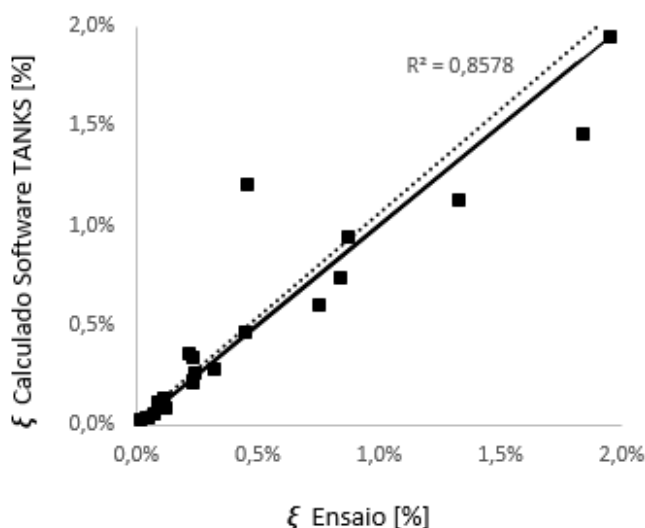


FIGURA 45 – COMPARAÇÃO DO PERCENTUAL DE PERDAS OBTIDOS EXPERIMENTALMENTE E PELO MODELO PROPOSTO NESTE TRABALHO
 FONTE: O Autor (2015)

O período de análise dos ensaios em protótipos foi curto (1 mês) em relação aos 10 anos (normalmente) de vida útil de um tanque, não avaliando as diferenças de estações do ano. Porém, os ensaios tem caráter simplesmente comparativo e pelo fato dos pares de tanques (com e sem teto flutuante interno) serem realizados simultaneamente, o ensaio atendeu ao objetivo de validar o modelo proposto.

5 CONCLUSÃO

Existem diversas dificuldades na coleta de dados reais para comparativos com o *software* (em lugar de comparações com protótipos). Elas vão desde o fato de que é comum os parques de tanques possuírem sempre as mesmas características construtivas (pelo fato de normalmente executarem a construção da planta com um único empreiteiro para tanques, e conseqüentemente este aplica a técnica construtiva mais lucrativa em todos os tanques), ao fato de que os parques normalmente são de tipos específicos de produto (derivados de petróleo, produtos químicos e outros), mas dificilmente há uma gama grande de produtos em um mesmo local. Outro fator que dificulta um trabalho mais completo e em escala real é a competitividade entre as plantas de armazenamento. Assim as informações são consideradas confidenciais e por estratégia comercial não são divulgadas.

Para que fosse possível estabelecer um método confiável e consistente para fundamentar a escolha de tipo de teto de tanque atmosférico o trabalho apresentado foi dividido em etapas, as quais trouxeram importantes conclusões.

Inicialmente, ao se avaliar a métrica apresentada pela U.S EPA, foi possível identificar que a quantidade de variáveis no processo, em relação as possibilidades construtivas era muito grande, criando uma dificuldade na formação de um método claro e simplificado para avaliação das perdas por emissões fugitivas em tanques atmosféricos.

Ao criar diversas situações possíveis em simulações com o *Software TANKS 4.09d* (U.S EPA, 2006) foi possível perceber que a utilização do *software* e a coleta de informações sobre as condições de contorno mínimas para se obter os resultados não são de simples aplicação, necessitando de um grau de conhecimento e treinamento razoável do operador, que então precisará tratar os dados e converter em uma informação para decisão de aplicação ou não do teto flutuante interno.

Com as diversas simulações feitas neste trabalho foi possível avaliar que as perdas entre tanques de tetos fixos (tipo cônico e domo) são muito próximas entre si e independentes da geometria construtiva, ou seja tipo domo

ou tipo cônico autoportante. Para tanto, as decisões de aplicação entre estes dois tipos de teto são determinadas pelos custos de projeto, materiais, fabricação e montagem, sem levar em conta os custos ou economias devido as reduções por emissão.

Também foi possível observar que a aplicação de tetos flutuantes internos não é sempre uma alternativa que reduz as emissões, sendo também possível um aumento destas, por conta das perdas características deste tipo de teto, dependendo das premissas adotadas.

Outra constatação foi a de verificar que as vantagens da redução de emissão na aplicação do teto flutuante interno crescem com o aumento do volume do tanque, de maneira mais relevante que com o aumento de seu diâmetro.

Ainda nestas análises, foi possível avaliar que, sem o teto flutuante interno, as emissões para um mesmo tanque tendem a crescer com a redução do volume de produto armazenado (ou aumento do volume morto), enquanto para tanques com teto flutuante interno, esta perda se estabilizava e passava a ser uma função da quantidade movimentada por ano.

Ao entrar na análise de volume morto, foi possível identificar que, no dimensionamento do tanque, algumas características do produto (ou até mesmo de mercado) fazem com que o tanque opere abaixo de sua capacidade nominal, aumentando o volume morto. Aliado às movimentações (quantidades de enchimentos e esvaziamentos do tanque), foi possível observar que existe uma grande diferença no percentual anual de perda por emissões fugitivas.

Por fim, ao avaliar o perfil das curvas típicas de percentual de perda em tanques com e sem tetos flutuantes internos, foi possível estabelecer uma correlação com os pontos de fulgor dos produtos armazenados. Sendo assim, possível criar um modelo matemático simplificado que correlaciona as perdas por emissão com apenas quatro variáveis (tipo de tanque – teto fixo com ou sem teto flutuante interno; capacidade nominal; volume de armazenamento e ponto de fulgor do produto armazenado).

Os resultados obtidos com este trabalho poderão auxiliar investidores e gerenciadores de grandes parques de tanques para estabelecer parâmetros para avaliar seus diferentes tipos de tanques e condições de armazenamento de uma forma rápida. Foi então executada uma avaliação simplificada para decisão sobre a aplicação de tetos flutuantes internos, baseada no ganho financeiro proporcionado pela redução de perdas consequentes da aplicação do teto flutuante interno.

Com a intenção de validar o modelo proposto foram elaborados protótipos que reuniram os resultados de perda real (em escala), simulada pelo *Software* TANKS 4.09d, baseado no documento AP-42, seção 7.1 e também no modelo matemático proposto. Com estes dados foi possível observar que, mesmo com uma faixa de tolerância maior (e com isso uma incerteza também maior) proporcionada pelo modelo matemático proposto neste trabalho, a decisão pode ser tomada com base nela, a partir do desempenho e tempo de retorno normalmente alto, especialmente para aplicação de álcool e gasolina.

Para produtos de maior ponto de fulgor, ou mesmo para tanques de menor capacidade (abaixo de 4.000 m³), sugere-se uma avaliação mais detalhada, utilizando o *Software* TANKS 4.09d (U.S. EPA, 2006), levando em conta tempos maiores para recuperação do investimento.

6 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Apesar das dificuldades já apresentadas no item 5 deste trabalho, uma reprodução da metodologia comparativa entre os dados teóricos e os dados em escala real é uma sugestão importante que pode ser aplicado em grandes terminais de armazenamento, ou mesmo exigido por órgãos ambientais, formando um banco de dados que realmente as avaliações teóricas.

Outra sugestão de análise seria em um trabalho similar à este, porém com um comparativo financeiro da aplicação de sistemas de inertização (injeção de gases inertes como N_2) como um todo (instalação e manutenção), avaliando as reduções de emissões, o impacto na utilização dos gases inertes e a avaliação de custo benefício.

De forma similar, também seria possível uma avaliação financeira de sistemas de retroalimentação de vapores, também utilizadas em terminais. Nestes sistemas teoricamente fechados, os vapores entre tanques e caminhões e vagões no momento do carregamento ou descarregamento é balanceado ora para um lado ora para outro, através de uma rede de tubulações.

Uma outra funcionalidade para os tanques de teto flutuante interno não avaliada neste trabalho e também carente de referências é a utilização do teto como elemento de redução de percentual de água no produto armazenado (como por exemplo, no biodiesel), que possui uma especificação técnica bastante rigorosa necessita de um controle da umidade em todo seu processo de fabricação (inclusive no armazenamento).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7821**: Tanques Soldados para Armazenamento de Petróleo e Derivados. Corpo de norma, capítulos de 1 a 13 e anexos: D - Tetos flutuantes; H - Tetos Flutuantes Cobertos. Rio de Janeiro, 1983.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devido ao Vento em Edificações. Rio de Janeiro, 1988.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2007.

ALVARES, Jr. O. M; LACAVA, C. I. V; FERNANDES, P. S; **Tecnologias e gestão ambiental – Emissões Atmosféricas**, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), Brasília, D.F., 2002.

API-2000. American Petroleum Institute (Instituto do Petróleo Americano). **Venting Atmospheric and Low-pressure storage Tanks (Respiros para Tanques de Armazenamento Atmosféricos e de Baixa Pressão)**. Corpo de norma, 6ªEd, Novembro, 2009.

API-620. American Petroleum Institute (Instituto do Petróleo Americano). **Design and Construcion of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks (Projeto e Construção para Grandes Tanques de Armazentos Soldados, de Baixa Pressão)**. Corpo de norma, Dezembro, 1998.

API-650. American Petroleum Institute (Instituto do Petróleo Americano). **Welded Tanks for Oil Storage (Tanques soldador para Armazenamento de Óleos)**. Corpo de norma, capítulos de 1 a 10 e anexos: C - External Floating Roofs (Tetos flutuantes extenno); G – Structurally-Supported Alluminium Dome Roofs (Domos de Alumínio Estruturalmente Suportados); H – Internal Folating Roofs (Teto Flutuante Interno). 11ªEd., Maio, 2010.

API-653. American Petroleum Institute (Instituto do Petróleo Americano). **Tank Inspection, Repair, Alteration and Reconstruction (Inspeção, Reparo, Alterações e Reconstrução de Tanques)**. Corpo de norma, 4ªEd. Abril, 2009.

ASME IX. American Society of Mechanical Engineers (Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos). **Qualification Standard for Welding na Brazing Procedures, Welders, Brazers and Welding and Brazing Operators (Norma de Qualificação de Procedimentos de Soldagem e Brazagem, Soldadores e Operadores de Solda e Brazagem)**. Corpo de norma, Julho, 2004.

BARROS, S. M. **Curso de Tanques de Armazenamento**. Centro de Desenvolvimento de Recursos Humanos - Sudeste, Rio de Janeiro, RJ., 2003.

BARRY, R. G; CHORLEY, R. J; **Atmosfera Tempo e Clima**. 9ª Ed. Porto Alegre, RS, 2013.

BOIAN, C; BRUMATTI, M, FORNARO A, **Avaliação preliminar das concentrações de COV no entorno do Polo Petroquímico de Capuava, Mauá – SP**, Revista Hipótese, Itapetininga, v. 1, n. 2, p. 15-28, 2015.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 18 - Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção**, julho de 1978. Disponível em: <http://portal.mte.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR18/NR18.pdf> Acesso em: 27 nov. 2015

BRASIL. Resolução CONAMA nº 03, de 28 de junho de 1990, Dispões sobre os padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 de junho de 1990.

CETESB. Licenciamento Ambiental Unificado. **Base de Armazenamento de Combustíveis e Produtos Químicos**, São Paulo, SP, 2015, disponível em: http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/unificado/pdf/bases_emissoes_atmosfericas.pdf, acesso em 26 de maio de 2015.

CONTEC - COMISSÃO DE NORMALIZAÇÃO TÉCNICA. **CONTEC N-270**: Projeto de Tanque de Armazenamento Atmosférico. Revisão E, Rio de Janeiro, 2010.

COSTA, D. M. B. da; **Avaliação das Emissões Fugitivas de Metano em Sistemas de Transporte de Gás Natural. O Caso do Gasoduto Bolívia-Brasil**. 153f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Ambiental) – Setor de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

COSTA, O; **Inspeção de Tanques de Armazenamento**, São Paulo, 2011.

EUROPEAN COMMISSION (COMISSÃO EUROPEIA). **IPPC**: Integrated pollution prevention and control reference document on best available techniques for mineral oil and gas refineries (Prevenção integrada de poluição e controle de referência sobre as melhores técnicas para refinarias de óleo e gás), 2003.

GODISH, T. **Air Quality (Qualidade do Ar)**. 4ª Ed. Lewis Publishers: Estados Unidos, 2004.

GUIZZE, A; **Manual de Trocadores de Calor, Vasos e Tanques**, Ibrasa Editora: São Paulo, 1989.

HEINSOHN, R. J; KABEL, R. L; **Sources and Control of Air Pollution (Fontes e Controles de Poluição do Ar)**. Prentice Hall, 1999.

HORT, M. C. ROBBINS, A. G; **The dispersion of fugitive emissions from storage Tanks (A dispersão de emissões fugitivas em tanques de armazenamento)** Universidade de Surrey, Surrey, Reino Unido, 2002.]

HOYT, D; RAUN, L. H. **Measured and estimated benzene and volatile organic carbon (VOC) emissions at a major U.S. refinery/chemical plant: Comparison and prioritization (Medições e estimativas de emissão de benzeno e compostos orgânicos voláteis (COV) nas refinarias e indústrias químicas dos E.U.A.: Comparações e Priorizações)**, Journal of the Air & Waste Management Association (Jornal da Associação de Gerenciamento do Ar e Desperdício), Volume 65, Issue 8, Estados Unidos, 2015

JONES, D. S. J; TREESE, S. A; **Fire Prevention and Firefighting in Petroleum Processing (Prevenção e Combate contra incêndio no Processamento de Petróleo)**. Handbook of Petroleum Processing (Manual de Processamento de Petróleo, Suíça, 2015.

JORDAN, M; RENTZ, O; ROLL; SCHNEIDER, C; ELICHEGARAY, C; STROEBEL, R; VIDAL, J.P; **Emissions of Volatile Organic Compounds (VOC) from Stationary Sources and Possibilities of their Control (Emissões de Compostos Orgânicos Voláteis (COV), de fontes estacionárias e possibilidades para seu controle)**, Karlsruhe, Julho 1990.

LIMA, A. H. T. de; SILVA Jr. L. P. da; SILVA, W. M. B; **Estocagem de Petróleo**, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2014.

MACHADO, E. M; **Apostila Curso Tanques de Armazenamento**. Escola Técnica União, Santo André, SP, 2009.

MAIA, C; AURELIO, R; **Tanques de Armazenamento**, Instituto Federal Bahia, Salvador, BA, 2012.

MARTINS de, D. O; **Estudo de controle de Emissões de Compostos Orgânicos Voláteis em Tanques de Armazenamento de Produtos Químicos**. Trabalho de Mestrado (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

MITCHELL SCIENTIFIC - PROCESS e INFORMATION TECHNOLOGIES ®, **Software Emission Master** ® 8, Agosto de 2007 disponível em: <http://www.mitchellscientific.com/EmissionMaster8.htm>

MOSALEEYANONT, J; VIVANPATARAKIJ, S; **Financial Analysis of the Internal Floating Roof Installation in Gasoline Gasohol (E10, E20) and Ethanol Tank – Analise Financeira de instalação de teto flutuante interno em misturas de Gasolina e Etanol (E10, E20) e Tanques de Etanol**. Advanced Materials Research – Pesquisa de Materiais Avançados, Vol. 962-965, pgs. 1862-1865, Junho de 2014

McDONALD, R; **Air Pollution Engineering Manual – Petroleum Storage (Manual de Engenharia de Poluição do Ar – Armazenamento de Petróleo)** . Air & Waste Management Association (Associação de Gerenciamento de Ar e Resíduos), 1ª Ed, 1992.

NETO, C; CARNEIRO, V; SILVA, F; PEREIRA L, GONÇALVES B; **Emissões Atmosféricas por Chaminés nas Microrregiões Leste, Centro e Sul do Estado de Goiás (Brasil)**, Revista Mirante, Anápolis-GO, junho 2015.

NEVERS N. de; **Air Pollution Control Engineering (Engenharia de Controle de Poluição do Ar)** . Mc Graw Hill, Capítulo 2, 3, 4 e 10 - 2ª Ed: Boston, EUA, 2000.

OLIVEIRA, R; **Acervo fotográfico pessoal**, cedido pelo Grupo VETOR-MATHIAS, Obra em SUAPE, PE, 2011.

OLIVEIRA, R; **Acervo fotográfico pessoal**, cedido pelo Grupo VETOR-MATHIAS, Apresentação Comercial Domos Geodésicos, 2012.

OLADIMEJI T. E; SONIBARE J. A; ODUNFA K. M; ORESEGUN O. R; **Environmental Impact Analysis of the Emission from Petroleum Refineries in Nigeria (Análise de Impacto Ambiental e Emissão de Refinarias de Petróleo na Nigéria)**, Centro de Ciência e Educação do Canadá, Volume 5, Canadá, 2015

PARSONS K; **Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance (Ambiente térmico humano, os efeitos de ambientes quentes, moderados e frios na saúde, conforto e performance humana)**. Terceira Edição, Imprensa CRC, Boca Raton Florida, 2014.

PASLEY, H. CLARCK, C; **Computacional fluid dynamics study of flow around floating-roof oil storage tanks (Estudo fluído-dinâmico de escoamento ao redor de tanques de armazenamento de óleo)**. Universidade de Brunel, Middlesex, Reino Unido, 1999.

PEREIRA, E; MARTINS, F. R; ABREU, S. L. de; RÜTER, R; **Atlas Brasileiro de Energia Solar**, São José dos Campos, SP, 2006.

PETROBRÁS – NORMAS INTERNAS, N-1742 – **Tanque de Teto Flutuante – Selo PW**. Rev.D, CONTEC (Comissão de Normas Técnicas) Rio de Janeiro/RJ, Novembro 2002a.

PETROBRÁS – NORMAS INTERNAS, N-1743 – **Fabricação e Montagem de Selo PW**. Rev.D, CONTEC (Comissão de Normas Técnicas) Rio de Janeiro/RJ, Novembro 2002b.

PETROBRÁS – NORMAS INTERNAS, N-270 – **Projeto de Tanque de Armazenamento Atmosférico**. Rev.E, CONTEC (Comissão de Normas Técnicas) Rio de Janeiro/RJ, Dezembro 2010.

PETROBRÁS – NORMAS INTERNAS, N-271 – **Montagem de Tanque de Armazenamento**. Rev.B, CONTEC (Comissão de Normas Técnicas) Rio de Janeiro/RJ, Setembro 2010.

QUELHAS, A. D; PASSOS C. N; LAGE, D. F. S; ABADIE, E; SOUSA, E. C. M. de; CORDEIRO, F. G; KRAHL, I. M; FARAH, M. A; ARAUJO, M. A. S; BRASIL, N. I. do; CAMARGO, P. R. C; PINTO, R. R. da C; **Processamento de Petróleo e Gás**. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda: Rio de Janeiro, RJ, 2011.

QUINTANILHA L; **O Universo das Emissões Atmosféricas**. Revista Meio Ambiente Industrial, São Paulo, SP, 2009.

RUCKER, J; E, STRIETER, R. P; **Air Pollution Engineering Manual – The Petroleum Industry (Manual de Engenharia de Poluição do Ar – A Indústria do Petróleo)** . Air & Waste Management Association (Associação de Gerenciamento de Ar e Resíduos), Capítulo 17 - 1ª Ed, 1992.

SHIRMER, W. N; RUDNIAK, A; **Avaliação das emissões gasosas de diferentes tipos de combustíveis utilizados e seus impactos ambientais** Revista do Dpto de Química e Física, do Dpto de Engenharia, Arquitetura e Ciências Agrárias e do Mestrado em Tecnologia Ambiental – UNISC – Santa Catarina – 2009.

SIMEPAR, **Informe sobre o verão 2014-2015**, SIMEPAR/IAPAR, Curitiba/PR, 2015, disponível em:
http://www.simepar.br/site/internas/conteudo/meteorologia/clima_estacoes/arquivos/verao2015.pdf, acesso em 18 de fevereiro 2015.

SRIVASTAVA, S; GARGAVA, P; ANSARI, P. M; **New Approaches for Environmental Management in Indian Petroleum Refineries (Novas Abordagens no Gerenciamento Ambiental de Refinarias de Petróleo Indianas)**, 97th Sessão de Ciência Ambiental, Congresso de Ciência Indiana, Índia, 2010

INDEX MUNDI, **Preços do Óleo Cru**; <http://www.indexmundi.com/pt/pre%27os-de-mercado/?mercadoria=%20ADndice-de-pre%27os-de-mat%27arias-primas-agr%20colas>, acesso em 02 de fevereiro 2015.

PREÇO DOS COMBUSTÍVEIS, **Preços do Álcool e Gasolina**; <http://www.precodoscombustiveis.com.br/postos/cidade/4005/pr/curitiba>, acesso em 29 de dezembro 2014.

TRIPULAÇÃO, **Preços do Querosene**; <http://www.tripulacao.com.br/profiles/blogs/curiosidades-quanto-custa-1-litro-de-querosene-de-aviacao>, acesso em 01 de setembro 2014.

SOUZA, R. de O. **Engenharia no desenvolvimento de protótipos automotivos funcionais**. Monografia de Pós-graduação em Engenharia automotiva, São Caetano do Sul, SP, 2013.

TELLES, S; **Vasos de Pressão**. 2ª Edição, Editora LTC, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product design and development (Projeto e desenvolvimento de produto)**. 2ª edição, McGraw-Hill, EUA 2000.

U.S. EPA – AP - 42 – Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental). **Chap. 7.1 - Organic Liquid Storage Tanks (Cap. 7.1 - Tanques de Armazenamento de Orgânicos Líquidos)**. Novembro – 2006.

U.S. EPA – Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental). **Software TANKS 4.09d** Outubro – 2006, disponível em: <http://www.epa.gov/ttnchie1/software/tanks/>, acesso em 16 fev. 2015.

U.S. EPA – Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental). **User's Guide to TANKS - Storage Tank Emissions Calculation Software Version 4.09 (Guia de Usuário do TANKS – Software de Cálculo de Emissões para Tanques de Armazenamento)** Setembro – 1999, disponível em: <http://www.epa.gov/ttn/chief/software/tanks/tank4man.pdf> acesso em 16 fev. 2015.

U.S. EPA – Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental). **Volatile Organic Compounds Emissions (Emissões de Compostos Orgânicos Voláteis)**, disponível em: <http://cfpub.epa.gov/eroe/index.cfm?fuseaction=detail.viewInd&lv=list.listByAlpha&r=219697&subtop=341> acesso em 16 fev. 2015.

VETOR-MATHIAS; **Jornal de Distribuição Interno**, 3ª Edição, 2014.

VETOR-MATHIAS; **Material de Consulta e informações da empresa**, 2015.

VILLAS-BÔAS, F; **Apostila de Tanques de Armazenamento de Combustíveis**. Centro de Desenvolvimento de Recursos Humanos - Sudeste, Rio de Janeiro/RJ, 2003.

APÊNDICES

APÊNDICE I-a - RESULTADOS PARA TANQUES DE 4.000 m³ (D =16,7 m X H = 18,5 m)

Simulação	D[m]	h[m]	V nominal [m ³]	Combustível	Tipo Teto	V util [m ³]	h util [m]	PERDA TOTAL [kg]	PERDA TOTAL [m ³]	PERDA TOTAL [%]
1	16,7	18,5	4.052	Álcool	Fixo Cone	3.700	16,9	68.330	86	2,3%
2						1.850	8,4	80.232	101	5,5%
3					Fixo Domo	3.700	16,9	69.950	88	2,4%
4						1.850	8,4	81.340	103	5,6%
5					Flutuante	3.700	16,9	77.982	98	2,66%
6						1.850	8,4	77.979	98	5,32%
7				Gasolina	Fixo Cone	3.700	16,9	468.897	699	18,9%
8						1.850	8,4	569.501	849	45,9%
9					Fixo Domo	3.700	16,9	488.012	727	19,7%
10						1.850	8,4	575.645	858	46,4%
11					Flutuante	3.700	16,9	638.111	951	25,7%
12						1.850	8,4	638.108	951	51,4%
13				Óleo Cru	Fixo Cone	3.700	16,9	180.695	0	0,0%
14						1.850	8,4	140.561	0	0,0%
15					Fixo Domo	3.700	16,9	187.919	0	0,0%
16						1.850	8,4	143.476	0	0,0%
17					Flutuante	3.700	16,9	121.289	143	3,85%
18						1.850	8,4	121.274	143	7,71%
19				Querosene	Fixo Cone	3.700	16,9	2.353	4	0,1%
20						1.850	8,4	2.575	4	0,2%
21					Fixo Domo	3.700	16,9	2.379	4	0,1%
22						1.850	8,4	2.601	4	0,2%
23					Flutuante	3.700	16,9	2.417	4	0,1%
24						1.850	8,4	2.404	4	0,2%

FONTE: O Autor (2015)

APÊNDICE I-b - RESULTADOS PARA TANQUES DE 10.000 m³ (D = 29,5 m X H = 25,0 m)

Simulação	D[m]	h[m]	V nominal [m ³]	Combustível	Tipo Teto	V util [m ³]	h util [m]	PERDA TOTAL [kg]	PERDA TOTAL [m ³]	PERDA TOTAL [%]
25	29,5	25	17.087	Álcool	Fixo Cone	10.000	14,6	295.788	373	3,7%
26						5.000	7,3	311.738	394	7,9%
27					Fixo Domo	10.000	14,6	299.768	378	3,8%
28						5.000	7,3	314.792	397	7,9%
29					Flutuante	10.000	14,6	95.749	121	1,21%
30						5.000	7,3	95.744	121	2,42%
31				Gasolina	Fixo Cone	10.000	14,6	2.106.642	3139	31,4%
32						5.000	7,3	2.180.035	3249	65,0%
33					Fixo Domo	10.000	14,6	2.128.290	3172	31,7%
34						5.000	7,3	2.191.904	3267	65,3%
35					Flutuante	10.000	14,6	783.477	1168	11,7%
36						5.000	7,3	783.473	1168	23,4%
37				Óleo Cru	Fixo Cone	10.000	14,6	825.950	971	9,7%
38						5.000	7,3	862.961	1014	20,3%
39					Fixo Domo	10.000	14,6	836.529	983	9,8%
40						5.000	7,3	869.268	1022	20,4%
41					Flutuante	10.000	14,6	148.927	175	1,75%
42						5.000	7,3	148.905	175	3,50%
43				Querosene	Fixo Cone	10.000	14,6	10.600	16	0,2%
44						5.000	7,3	11.197	17	0,3%
45					Fixo Domo	10.000	14,6	10.741	16	0,2%
46						5.000	7,3	11.337	17	0,3%
47					Flutuante	10.000	14,6	2.976	4	0,0%
48						5.000	7,3	2.956	4	0,1%

FONTE: O Autor (2015)

APÊNDICE I-c - RESULTADOS PARA TANQUES DE 20.000 m³ (D = 28,6 m X H = 35,0 m)

Simulação	D[m]	h[m]	V nominal [m ³]	Combustível	Tipo Teto	V util [m ³]	h util [m]	PERDA TOTAL [kg]	PERDA TOTAL [m ³]	PERDA TOTAL [%]
49	28,6	35	22.485	Álcool	Fixo Cone	20.000	31,1	416.488	526	2,6%
50						10.000	15,6	467.237	590	5,9%
51					Fixo Domo	20.000	31,1	423.626	535	2,7%
52						10.000	15,6	471.095	595	5,9%
53					Flutuante	20.000	31,1	94.783	120	0,60%
54						10.000	15,6	94.775	120	1,20%
55				Gasolina	Fixo Cone	20.000	31,1	2.827.057	4213	21,1%
56						10.000	15,6	3.123.322	4655	46,5%
57					Fixo Domo	20.000	31,1	2.888.856	4305	21,5%
58						10.000	15,6	3.136.914	4675	46,7%
59					Flutuante	20.000	31,1	775.499	1156	5,8%
60						10.000	15,6	775.492	1156	11,6%
61				Óleo Cru	Fixo Cone	20.000	31,1	1.094.802	1287	6,4%
62						10.000	15,6	1.232.250	1448	14,5%
63					Fixo Domo	20.000	31,1	1.239.425	1317	6,6%
64						10.000	15,6	1.239.467	1457	14,6%
65					Flutuante	20.000	31,1	310.263	365	1,82%
66						10.000	15,6	310.234	365	3,65%
67				Querosene	Fixo Cone	20.000	31,1	13.118	20	0,1%
68						10.000	15,6	14.313	21	0,2%
69					Fixo Domo	20.000	31,1	13.247	20	0,1%
70						10.000	15,6	14.440	22	0,2%
71					Flutuante	20.000	31,1	2.989	4	0,0%
72						10.000	15,6	2.948	4	0,0%

FONTE: O Autor (2015)

APÊNDICE I-d - RESULTADOS PARA TANQUES DE 40.000 m³ (D = 45,0 m X H = 28,8 m)

Simulação	D[m]	h[m]	V nominal [m ³]	Combustível	Tipo Teto	V util [m ³]	h util [m]	PERDA TOTAL [kg]	PERDA TOTAL [m ³]	PERDA TOTAL [%]
73	45	28,8	45.804	Álcool	Fixo Cone	40.000	25,2	849.553	1073	2,7%
74						20.000	12,6	956.786	1208	6,0%
75					Fixo Domo	40.000	25,2	876.826	1107	2,8%
76						20.000	12,6	973.215	1229	6,1%
77					Flutuante	40.000	25,2	106.905	135	0,34%
78						20.000	12,6	106.891	135	0,67%
79				Gasolina	Fixo Cone	40.000	25,2	5.819.135	8672	21,7%
80						20.000	12,6	6.461.078	9629	48,1%
81					Fixo Domo	40.000	25,2	6.046.623	9011	22,5%
82						20.000	12,6	6.524.724	9724	48,6%
83					Flutuante	40.000	25,2	887.695	1323	3,3%
84						20.000	12,6	887.684	1323	6,6%
85				Óleo Cru	Fixo Cone	40.000	25,2	2.242.052	2635	6,6%
86						20.000	12,6	2.546.460	2993	15,0%
87					Fixo Domo	40.000	25,2	2.338.301	2748	6,9%
88						20.000	12,6	2.579.533	2993	15,0%
89					Flutuante	40.000	25,2	169.586	199	0,50%
90						20.000	12,6	169.529	199	1,00%
91				Querosene	Fixo Cone	40.000	25,2	28.064	42	0,1%
92						20.000	12,6	30.967	46	0,2%
93					Fixo Domo	40.000	25,2	28.670	43	0,1%
94						20.000	12,6	31.569	47	0,2%
95					Flutuante	40.000	25,2	3.487	5	0,0%
96						20.000	12,6	3.473	5	0,0%

FONTE: O Autor (2015)

APÊNDICE I-e - RESULTADOS PARA TANQUES DE 80.000 m³ (D = 65,0 m X H = 25,0 m)

Simulação	D[m]	h[m]	V nominal [m ³]	Combustível	Tipo Teto	V util [m ³]	h util [m]	PERDA TOTAL [kg]	PERDA TOTAL [m ³]	PERDA TOTAL [%]
97	65	25	82.958	Álcool	Fixo Cone	80.000	24,1	1.503.295	1898	2,4%
98						40.000	12,1	1.745.069	2203	5,5%
99					Fixo Domo	80.000	24,1	1.652.839	2087	2,6%
100						40.000	12,1	1.836.172	2318	5,8%
101					Flutuante	80.000	24,1	133.543	169	0,21%
102						40.000	12,1	133.525	169	0,42%
103				Gasolina	Fixo Cone	80.000	24,1	10.106.877	15062	18,8%
104						40.000	12,1	11.993.947	17874	44,7%
105					Fixo Domo	80.000	24,1	11.483.023	17113	21,4%
106						40.000	12,1	12.366.173	18429	46,1%
107					Flutuante	80.000	24,1	1.108.864	1652	2,1%
108						40.000	12,1	1.203.420	1793	4,5%
109				Óleo Cru	Fixo Cone	80.000	24,1	3.915.001	4602	5,8%
110						40.000	12,1	4.720.758	5549	13,9%
111					Fixo Domo	80.000	24,1	4.285.542	5037	6,3%
112						40.000	12,1	4.839.578	5689	14,2%
113					Flutuante	80.000	24,1	211.852	249	0,31%
114						40.000	12,1	227.699	268	0,67%
115				Querosene	Fixo Cone	80.000	24,1	50.633	75	0,1%
116						40.000	12,1	56.460	84	0,2%
117	Fixo Domo	80.000	24,1		52.467	78	0,1%			
118		40.000	12,1		58.281	87	0,2%			
119	Flutuante	80.000	24,1		4.360	6	0,0%			
120		40.000	12,1		4.842	7	0,0%			

FONTE: O Autor (2015)

APÊNDICE I-f – RESULTADOS PARA TANQUES DE 15.000 m³ (D = 29,5 m X H = 25,0 m)

Simulação	D[m]	h[m]	V nominal [m ³]	Combustível	Tipo Teto	V util [m ³]	h util [m]	PERDA TOTAL [kg]	PERDA TOTAL [m ³]	PERDA TOTAL [%]
25'	29,5	25	17.087	Álcool	Fixo Cone	15.000	16,9	318.885	403	2,7%
26'						7.500	8,4	361.668	457	6,1%
27'					Fixo Domo	15.000	16,9	327.010	413	2,8%
28'						7.500	8,4	366.795	463	6,2%
29'					Flutuante	15.000	16,9	116.117	147	0,98%
30'						7.500	8,4	108.573	137	1,83%
31'				Gasolina	Fixo Cone	15.000	16,9	2.188.522	3261	21,7%
32'						7.500	8,4	2.480.743	3697	49,3%
33'					Fixo Domo	15.000	16,9	2.264.764	3375	22,5%
34'						7.500	8,4	2.503.096	3730	49,7%
35'					Flutuante	15.000	16,9	821.992	1225	8,2%
36'						7.500	8,4	828.313	1234	16,5%
37'				Óleo Cru	Fixo Cone	15.000	16,9	845.534	994	6,6%
38'						7.500	8,4	975.677	1147	15,3%
39'					Fixo Domo	15.000	16,9	876.638	1030	6,9%
40'						7.500	8,4	986.973	1160	15,5%
41'					Flutuante	15.000	16,9	219.070	258	1,72%
42'						7.500	8,4	186.667	219	2,93%
43'				Querosene	Fixo Cone	15.000	16,9	10.589	16	0,1%
44'						7.500	8,4	11.678	17	0,2%
45'					Fixo Domo	15.000	16,9	10.760	16	0,1%
46'						7.500	8,4	11.848	18	0,2%
47'					Flutuante	15.000	16,9	2.976	4	0,0%
48'						7.500	8,4	2.956	4	0,1%

FONTE: O Autor (2015)

APÊNDICE II-a- RELAÇÃO DE PERDAS ENTRE RESULTADOS DO SOFTWARE E EQUAÇÕES 25 E 27

Simulação	PERDA TOTAL TANKS [%]	PERDA TOTAL (eq. 25 e 27) [%]	ERRO [%]	Simulação	PERDA TOTAL TANKS [%]	PERDA TOTAL (eq. 25 e 27) [%]	ERRO [%]	Simulação	PERDA TOTAL TANKS [%]	PERDA TOTAL (eq. 25 e 27) [%]	ERRO [%]
1	2,3%	3,1%	25,3%	25	2,7%	3,1%	24,0%	49	2,6%	3,1%	14,0%
2	5,5%	7,7%	29,0%	26	6,1%	7,7%	28,6%	50	5,9%	7,7%	21,0%
3	2,4%	3,1%	23,6%	27	2,8%	3,1%	16,5%	51	2,7%	3,1%	11,8%
4	5,6%	7,7%	28,0%	28	6,2%	7,7%	24,8%	52	5,9%	7,7%	19,9%
5	2,66%	1,8%	34,2%	29	0,98%	0,4%	42,0%	53	0,60%	0,9%	10,3%
6	5,32%	3,3%	37,6%	30	1,83%	0,5%	13,9%	54	1,20%	1,4%	24,8%
7	18,9%	21,3%	11,5%	31	21,7%	21,3%	11,8%	55	21,1%	21,3%	1,8%
8	45,9%	47,5%	3,4%	32	49,3%	47,5%	5,9%	56	46,5%	47,5%	3,7%
9	19,7%	21,3%	7,9%	33	22,5%	21,3%	0,2%	57	21,5%	21,3%	5,1%
10	46,4%	47,5%	2,4%	34	49,7%	47,5%	3,0%	58	46,7%	47,5%	4,5%
11	25,7%	11,6%	54,7%	35	8,2%	2,4%	12,1%	59	5,8%	5,7%	29,7%
12	51,4%	20,6%	59,9%	36	16,5%	3,1%	31,5%	60	11,6%	8,6%	47,9%
13	0,0%	5,0%	13,7%	37	6,6%	5,0%	13,9%	61	6,4%	5,0%	25,2%
14	0,0%	12,2%	27,0%	38	15,3%	12,2%	11,8%	62	14,5%	12,2%	20,0%
15	0,0%	5,0%	17,0%	39	6,9%	5,0%	21,3%	63	6,6%	5,0%	27,9%
16	0,0%	12,2%	25,5%	40	15,5%	12,2%	14,0%	64	14,6%	12,2%	20,9%
17	3,85%	2,8%	27,9%	41	1,72%	0,6%	46,0%	65	1,82%	1,4%	18,9%
18	7,71%	5,3%	31,6%	42	2,93%	0,8%	13,9%	66	3,65%	2,2%	25,4%
19	0,1%	0,1%	0,0%	43	0,1%	0,1%	0,0%	67	0,1%	0,1%	0,0%
20	0,2%	0,2%	0,0%	44	0,2%	0,1%	0,1%	68	0,2%	0,2%	0,0%
21	0,1%	0,1%	0,0%	45	0,1%	0,1%	0,0%	69	0,1%	0,1%	0,0%
22	0,2%	0,1%	0,1%	46	0,2%	0,2%	0,0%	70	0,2%	0,1%	0,1%
23	0,1%	0,1%	0,0%	47	0,1%	0,1%	0,0%	71	0,1%	0,1%	0,0%
24	0,2%	0,1%	0,1%	48	0,1%	0,0%	0,0%	72	0,1%	0,0%	0,0%

Continua

APÊNDICE II-a - RELAÇÃO DE PERDAS ENTRE RESULTADOS DO SOFTWARE E EQUAÇÕES 25 E 27

Simulação	PERDA TOTAL TANKS [%]	PERDA TOTAL (eq. 25 e 27) [%]	ERRO [%]	Simulação	PERDA TOTAL TANKS [%]	PERDA TOTAL (eq. 25 e 27) [%]	ERRO [%]
73	2,7%	3,1%	15,8%	97	2,4%	3,1%	14,1%
74	6,0%	7,7%	23,5%	98	5,5%	7,7%	21,7%
75	2,8%	3,1%	14,4%	99	2,6%	3,1%	11,4%
76	6,1%	7,7%	22,9%	100	5,8%	7,7%	20,3%
77	0,34%	0,8%	20,9%	101	0,21%	0,5%	35,9%
78	0,67%	1,1%	3,9%	102	0,42%	0,7%	9,9%
79	21,7%	21,3%	1,3%	103	18,8%	21,3%	1,5%
80	48,1%	47,5%	2,0%	104	44,7%	47,5%	1,4%
81	22,5%	21,3%	0,8%	105	21,4%	21,3%	5,3%
82	48,6%	47,5%	1,6%	106	46,1%	47,5%	2,3%
83	3,3%	4,9%	14,6%	107	2,1%	3,4%	3,2%
84	6,6%	7,2%	37,9%	108	4,5%	4,7%	29,2%
85	6,6%	5,0%	23,0%	109	5,8%	5,0%	24,8%
86	15,0%	12,2%	15,5%	110	13,9%	12,2%	19,3%
87	6,9%	5,0%	24,8%	111	6,3%	5,0%	27,9%
88	15,0%	12,2%	16,0%	112	14,2%	12,2%	18,2%
89	0,50%	1,2%	34,2%	113	0,31%	0,8%	40,3%
90	1,00%	1,8%	50,0%	114	0,67%	1,2%	16,2%
91	0,1%	0,1%	0,1%	115	0,1%	0,1%	0,0%
92	0,2%	0,1%	0,1%	116	0,2%	0,1%	0,1%
93	0,1%	0,1%	0,1%	117	0,1%	0,1%	0,0%
94	0,2%	0,2%	0,0%	118	0,2%	0,2%	0,0%
95	0,0%	0,1%	0,1%	119	0,1%	0,1%	0,0%
96	0,0%	0,0%	0,0%	120	0,1%	0,0%	0,0%

FONTE: O Autor (2015)

NOTA: Os valores em destaque são para tanques com teto flutuante interno

APÊNDICE II-b - VERIFICAÇÃO DA FAIXA DE RESULTADOS

Simulação	PERDA TOTAL TANKS [%]	PERDA TOTAL (Eq. 25 e 27) [%]	Percentual de Erro	PERDA TOTAL MIN (Eq. 26 e 28) [%]	PERDA TOTAL MÁX (Eq. 26 e 28) [%]	ENSAIO DENTRO DA FAIXA DE CÁLCULO DAS EQ. 26 e 28	Simulação	PERDA TOTAL TANKS [%]	PERDA TOTAL (Eq. 25 e 27) [%]	Percentual de Erro	PERDA TOTAL MIN (Eq. 26 e 28) [%]	PERDA TOTAL MÁX (Eq. 26 e 28) [%]	ENSAIO DENTRO DA FAIXA DE CÁLCULO DAS EQ. 26 e 28
1	2,3%	3,1%	0,9%	2,2%	4,1%	SIM	25	2,7%	3,1%	0,9%	2,2%	4,1%	SIM
2	5,5%	7,7%	2,3%	5,4%	10,0%	SIM	26	6,1%	7,7%	2,3%	5,4%	10,0%	SIM
3	2,4%	3,1%	0,9%	2,2%	4,1%	SIM	27	2,8%	3,1%	0,9%	2,2%	4,1%	SIM
4	5,6%	7,7%	2,3%	5,4%	10,0%	SIM	28	6,2%	7,7%	2,3%	5,4%	10,0%	SIM
5	2,66%	1,75%	1,05%	0,7%	2,8%	SIM	29	0,98%	0,88%	0,53%	0,4%	1,4%	SIM
6	5,32%	3,32%	2,0%	1,3%	5,3%	NÃO	30	1,83%	1,37%	0,8%	0,5%	2,2%	SIM
7	18,9%	21,3%	6,4%	14,9%	27,7%	SIM	31	21,7%	21,3%	6,4%	14,9%	27,7%	SIM
8	45,9%	47,5%	14,2%	33,2%	61,7%	SIM	32	49,3%	47,5%	14,2%	33,2%	61,7%	SIM
9	19,7%	21,3%	6,4%	14,9%	27,7%	SIM	33	22,5%	21,3%	6,4%	14,9%	27,7%	SIM
10	46,4%	47,5%	14,2%	33,2%	61,7%	SIM	34	49,7%	47,5%	14,2%	33,2%	61,7%	SIM
11	25,7%	11,6%	7,0%	4,7%	18,6%	NÃO	35	8,2%	5,7%	3,4%	2,3%	9,2%	SIM
12	51,4%	20,6%	12,4%	8,2%	32,9%	NÃO	36	16,5%	8,6%	5,1%	3,4%	13,7%	NÃO
13	5,7%	5,0%	1,5%	3,5%	6,4%	SIM	37	6,6%	5,0%	1,5%	3,5%	6,4%	NÃO
14	8,9%	12,2%	3,7%	8,6%	15,9%	SIM	38	15,3%	12,2%	3,7%	8,6%	15,9%	SIM
15	6,0%	5,0%	1,5%	3,5%	6,4%	SIM	39	6,9%	5,0%	1,5%	3,5%	6,4%	NÃO
16	9,1%	12,2%	3,7%	8,6%	15,9%	SIM	40	15,5%	12,2%	3,7%	8,6%	15,9%	SIM
17	3,85%	2,78%	1,67%	1,1%	4,4%	SIM	41	1,72%	1,39%	0,84%	0,6%	2,2%	SIM
18	7,71%	5,27%	3,2%	2,1%	8,4%	SIM	42	2,93%	2,18%	1,3%	0,9%	3,5%	SIM
19	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	SIM	43	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	SIM
20	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	SIM	44	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	SIM
21	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	SIM	45	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	SIM
22	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	SIM	46	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	SIM
23	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	SIM	47	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	SIM
24	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	SIM	48	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	SIM

Continua

APÊNDICE II-b - VERIFICAÇÃO DA FAIXA DE RESULTADOS (CONTINUA)

Simulação	PERDA TOTAL TANKS [%]	PERDA TOTAL (Eq. 25 e 27) [%]	Percentual de Erro	PERDA TOTAL MIN (Eq. 26 e 28) [%]	PERDA TOTAL MÁX (Eq. 26 e 28) [%]	ENSAIO DENTRO DA FAIXA DE CÁLCULO DAS EQ. 26 e 28	Simulação	PERDA TOTAL TANKS [%]	PERDA TOTAL (Eq. 25 e 27) [%]	Percentual de Erro	PERDA TOTAL MIN (Eq. 26 e 28) [%]	PERDA TOTAL MÁX (Eq. 26 e 28) [%]	ENSAIO DENTRO DA FAIXA DE CÁLCULO DAS EQ. 26 e 28
49	2,6%	3,1%	0,9%	2,2%	4,1%	SIM	73	2,7%	3,1%	0,9%	2,2%	4,1%	SIM
50	5,9%	7,7%	2,3%	5,4%	10,0%	SIM	74	6,0%	7,7%	2,3%	5,4%	10,0%	SIM
51	2,7%	3,1%	0,9%	2,2%	4,1%	SIM	75	2,8%	3,1%	0,9%	2,2%	4,1%	SIM
52	5,9%	7,7%	2,3%	5,4%	10,0%	SIM	76	6,1%	7,7%	2,3%	5,4%	10,0%	SIM
53	0,60%	0,76%	0,45%	0,3%	1,2%	SIM	77	0,34%	0,53%	0,32%	0,2%	0,8%	SIM
54	1,20%	1,15%	0,7%	0,5%	1,8%	SIM	78	0,67%	0,75%	0,4%	0,3%	1,2%	SIM
55	21,1%	21,3%	6,4%	14,9%	27,7%	SIM	79	21,7%	21,3%	6,4%	14,9%	27,7%	SIM
56	46,5%	47,5%	14,2%	33,2%	61,7%	SIM	80	48,1%	47,5%	14,2%	33,2%	61,7%	SIM
57	21,5%	21,3%	6,4%	14,9%	27,7%	SIM	81	22,5%	21,3%	6,4%	14,9%	27,7%	SIM
58	46,7%	47,5%	14,2%	33,2%	61,7%	SIM	82	48,6%	47,5%	14,2%	33,2%	61,7%	SIM
59	5,8%	4,9%	3,0%	2,0%	7,9%	SIM	83	3,3%	3,4%	2,0%	1,4%	5,5%	SIM
60	11,6%	7,2%	4,3%	2,9%	11,5%	NÃO	84	6,6%	4,7%	2,8%	1,9%	7,5%	SIM
61	6,4%	5,0%	1,5%	3,5%	6,4%	SIM	85	6,6%	5,0%	1,5%	3,5%	6,4%	NÃO
62	14,5%	12,2%	3,7%	8,6%	15,9%	SIM	86	15,2%	12,2%	3,7%	8,6%	15,9%	SIM
63	6,6%	5,0%	1,5%	3,5%	6,4%	NÃO	87	6,9%	5,0%	1,5%	3,5%	6,4%	NÃO
64	14,6%	12,2%	3,7%	8,6%	15,9%	SIM	88	15,0%	12,2%	3,7%	8,6%	15,9%	SIM
65	1,82%	1,20%	0,72%	0,5%	1,9%	SIM	89	0,50%	0,83%	0,50%	0,3%	1,3%	SIM
66	3,65%	1,82%	1,1%	0,7%	2,9%	NÃO	90	1,00%	1,19%	0,7%	0,5%	1,9%	SIM
67	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	SIM	91	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	SIM
68	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	SIM	92	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	SIM
69	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	SIM	93	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	SIM
70	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	SIM	94	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	SIM
71	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	SIM	95	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	SIM
72	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	SIM	96	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	SIM

FONTE: O Autor (2015)

Continua

APÊNDICE II-b – VERIFICAÇÃO DA FAIXA DE RESULTADOS (CONCLUSÃO)

Simulação	PERDA TOTAL TANKS [%]	PERDA TOTAL (Eq. 25 e 27) [%]	Percentual de Erro	PERDA TOTAL MIN (Eq. 26 e 28) [%]	PERDA TOTAL MÁX (Eq. 26 e 28) [%]	ENSAIO DENTRO DA FAIXA DE CÁLCULO DAS EQ. 26 e 28
97	2,4%	3,1%	0,9%	2,2%	4,1%	SIM
98	5,5%	7,7%	2,3%	5,4%	10,0%	SIM
99	2,6%	3,1%	0,9%	2,2%	4,1%	SIM
100	5,8%	7,7%	2,3%	5,4%	10,0%	SIM
101	0,21%	0,36%	0,22%	0,1%	0,6%	SIM
102	0,42%	0,49%	0,3%	0,2%	0,8%	SIM
103	18,8%	21,3%	6,4%	14,9%	27,7%	SIM
104	44,7%	47,5%	14,2%	33,2%	61,7%	SIM
105	21,4%	21,3%	6,4%	14,9%	27,7%	SIM
106	46,1%	47,5%	14,2%	33,2%	61,7%	SIM
107	2,1%	2,4%	1,4%	0,9%	3,8%	SIM
108	4,5%	3,1%	1,8%	1,2%	4,9%	SIM
109	5,8%	5,0%	1,5%	3,5%	6,4%	SIM
110	13,9%	12,2%	3,7%	8,6%	15,9%	SIM
111	6,3%	5,0%	1,5%	3,5%	6,4%	SIM
112	14,2%	12,2%	3,7%	8,6%	15,9%	SIM
113	0,31%	0,58%	0,35%	0,2%	0,9%	SIM
114	0,67%	0,78%	0,5%	0,3%	1,2%	SIM
115	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	SIM
116	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	SIM
117	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	SIM
118	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	SIM
119	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	SIM
120	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	SIM

FONTE: O Autor (2015)

APÊNDICE III – a - RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS COM OS PROTÓTIPOS DOS TANQUES

D [cm]	H [cm]	V nominal [L]	Combustível	Tipo Teto	V util [L]	h util [cm]	PERDA TOTAL TANKS Ma [g]	PERDA TOTAL TANKS ξ_a [%]	PERDA TOTAL EQ. 24 e 26 ξ_b [%]	DESVIO PAD EQ. 24 e 26 ξ_b [%]	PERDA TOTAL ENSAIO m_c [g]	TOLERANCIA BALANÇA [g]	PERDA TOTAL ENSAIO ξ_c [%]	TOLERANCIA BALANÇA CONVERTIDO EM ξ_c [%]
16,7	18,5	4	Álcool	Fixo Domo	3,7	16,9	2,6	0,09%	0,12%	0,04%	3,0	5	0,11%	0,18%
					1,85	8,4	3,1	0,22%	0,30%	0,09%	5,0	5	0,36%	0,36%
				Flutuante	3,7	16,9	2,6	0,10%	0,07%	0,04%	2,0	5	0,08%	0,20%
					1,85	8,4	2,6	0,21%	0,13%	0,08%	1,0	5	0,08%	0,40%
			Gasolina	Fixo Domo	3,7	16,9	21,4	0,76%	0,84%	0,25%	34,0	5	1,21%	0,18%
					1,85	8,4	25,6	1,82%	1,87%	0,56%	38,0	5	2,71%	0,36%
				Flutuante	3,7	16,9	25,2	1,01%	0,46%	0,28%	15,0	5	0,60%	0,20%
					1,85	8,4	25,2	2,03%	0,81%	0,49%	14,0	5	1,13%	0,40%
29,5	25	15	Álcool	Fixo Domo	15	21,9	12,2	0,11%	0,12%	0,04%	15,0	10	0,13%	0,09%
					7,5	11	13,8	0,24%	0,30%	0,09%	15,0	5	0,26%	0,09%
				Flutuante	15	21,9	3,9	0,04%	0,03%	0,02%	4,0	10	0,04%	0,10%
					7,5	11	3,6	0,07%	0,05%	0,03%	3,0	5	0,06%	0,10%
			Gasolina	Fixo Domo	15	21,9	99,4	0,87%	0,84%	0,25%	107,0	10	0,94%	0,09%
					7,5	11	111,2	1,95%	1,87%	0,56%	111,0	5	1,95%	0,09%
				Flutuante	15	21,9	32,4	0,32%	0,23%	0,14%	28,0	10	0,28%	0,10%
					7,5	11	32,7	0,65%	0,34%	0,20%	23,0	5	0,46%	0,10%
28,6	35	20	Álcool	Fixo Domo	20	31,1	15,9	0,10%	0,12%	0,04%	16,0	10	0,11%	0,07%
					10	15,6	17,7	0,23%	0,30%	0,09%	17,0	10	0,22%	0,13%
				Flutuante	20	31,1	3,2	0,02%	0,03%	0,02%	4,0	10	0,03%	0,07%
					10	15,6	3,2	0,05%	0,05%	0,03%	3,0	10	0,04%	0,15%
			Gasolina	Fixo Domo	20	31,1	127,5	0,84%	0,84%	0,25%	113,0	10	0,74%	0,07%
					10	15,6	139,7	1,84%	1,87%	0,56%	111,0	10	1,46%	0,13%
				Flutuante	20	31,1	30,6	0,23%	0,19%	0,12%	28,0	10	0,21%	0,07%
					10	15,6	15,3	0,23%	0,28%	0,17%	23,0	10	0,34%	0,15%

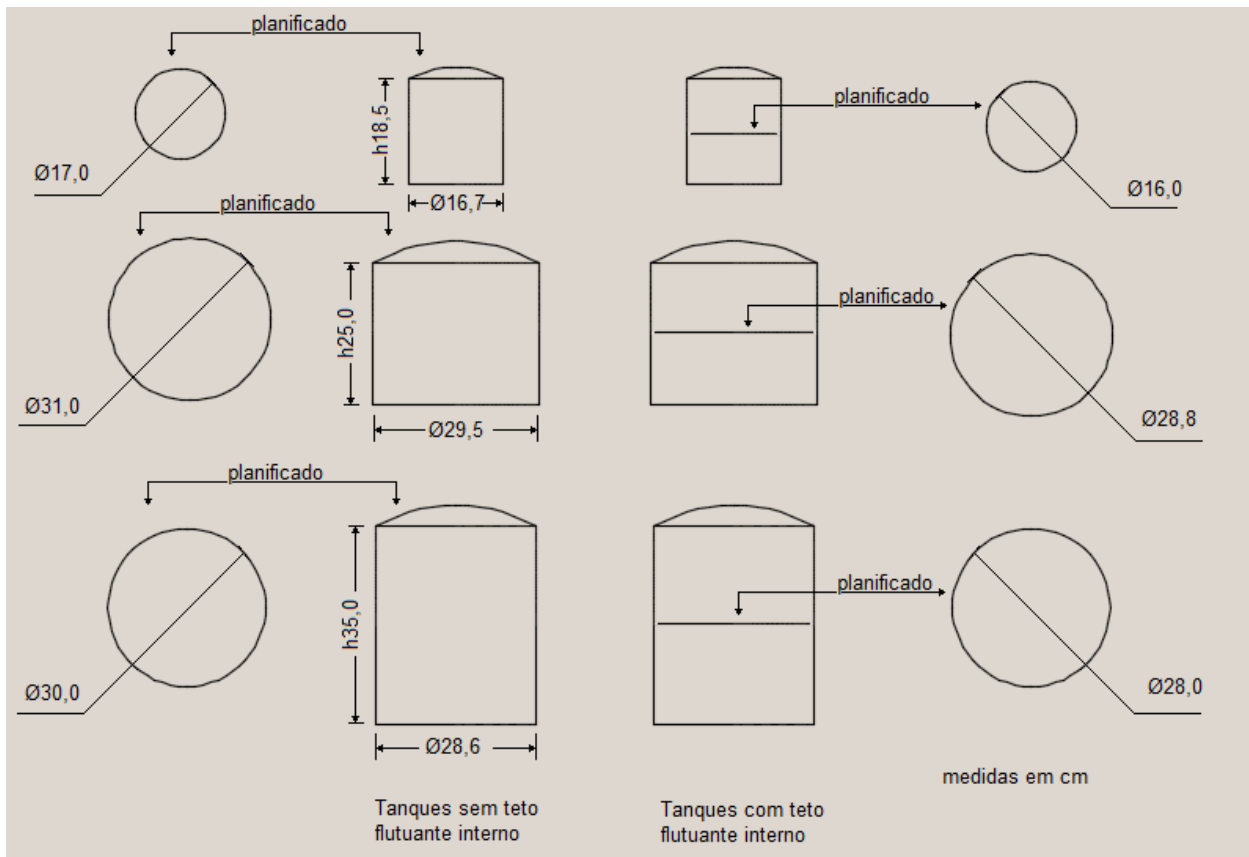
FONTE: O Autor (2015)

APÊNDICE III – b – COMPARATIVO GERAL DE RESULTADOS

PERDA TOTAL TANKS ξ_a [%]	PERDA TOTAL EQ. 24 e 26 ξ_b [%]	PERDA TOTAL ENSAIO ξ_c [%]	% ERRO SIMULAÇÃO - MODELO	% ERRO SIMULAÇÃO - ENSAIO	% ERRO ENSAIO - MODELO
0,09%	0,12%	0,11%	25%	18%	9%
0,22%	0,30%	0,36%	27%	39%	17%
0,10%	0,07%	0,08%	43%	25%	13%
0,21%	0,13%	0,08%	62%	163%	63%
0,76%	0,84%	1,21%	10%	37%	31%
1,82%	1,87%	2,71%	3%	33%	31%
1,01%	0,46%	0,60%	120%	68%	23%
2,03%	0,81%	1,13%	151%	80%	28%
0,11%	0,12%	0,13%	8%	15%	8%
0,24%	0,30%	0,26%	20%	8%	15%
0,04%	0,03%	0,04%	33%	0%	25%
0,07%	0,05%	0,06%	40%	17%	17%
0,87%	0,84%	0,94%	4%	7%	11%
1,95%	1,87%	1,95%	4%	0%	4%
0,32%	0,23%	0,28%	39%	14%	18%
0,65%	0,34%	0,46%	91%	41%	26%
0,10%	0,12%	0,11%	17%	9%	9%
0,23%	0,30%	0,22%	23%	5%	36%
0,02%	0,03%	0,03%	33%	33%	0%
0,05%	0,05%	0,04%	0%	25%	25%
0,84%	0,84%	0,74%	0%	14%	14%
1,84%	1,87%	1,46%	2%	26%	28%
0,23%	0,19%	0,21%	21%	10%	10%

FONTE: O Autor (2015)

APÊNDICE IV – PROJETO DOS PROTÓTIPOS:



Dimensões dos protótipos [cm]; chapas de 0,5mm de alumínio.

ANEXOS

ANEXO I – DOCUMENTO CETESB:



Licenciamento Ambiental Unificado

BASES DE ARMAZENAMENTO DE COMBUSTÍVEIS E PRODUTOS QUÍMICOS

EMISSÕES ATMOSFÉRICAS - ROTEIRO DO ESTUDO

Apresentar estudo que contemple a estimativa de emissão de compostos orgânicos voláteis (COV's) para a atmosfera que contemple:


- as emissões provenientes dos tanques, nomeadas como *emissões evaporativas*
- as emissões provenientes das bacias de contenção como BAO, SAO, etc; nomeadas como *emissões de fontes abertas*;
- as emissões provenientes das operações de carregamento e descarregamento de caminhões, trens e/ou navios, enchimento e decantação para todos os tipos de botijões e cilindros industriais, medição do nível dos vasos de pressão e dispositivos e acessórios de tubulações como válvulas, bombas, junções, etc; nomeadas como *emissões fugitivas*

1. Emissões Evaporativas (armazenamento de combustíveis e/ou produtos químicos em tanques)


- Relatório contendo a estimativa das emissões com base no software TANKS 4.09D, disponibilizado no site da USEPA <http://www.epa.gov/ttn/chief/software/tanks/index.html>, do tipo SUMMARY ou DETAIL, com estimativa para as situações atuais e futura conforme citado acima e contemplando as medidas de redução das emissões.
- Cópia da base de dados meteorológicos brutos (mínimo 3 anos consecutivos) utilizados para gerar os dados de entrada do software TANKS, bem como memória de cálculo das transformações de unidades utilizadas no programa e cópia da documentação original onde constam os valores dos pesos moleculares (lb/lbmol) e pressão de vapor (psi) utilizados no programa TANKS. Apresentar memória de cálculo das transformações de unidades para kg/ano da tabela das emissões estimadas, originalmente calculadas em lb/ano pelo programa TANKS.
- Movimentação de produtos (situação atual e futura).

ANEXO II – PONTOS DE FULGOR:

a) Álcool:

	Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - FISPQ
Nome do Produto: Álcool Anidro / hidratado	Página 3 de 4
9. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	
Forma: líquido Cor: incolor Odor: característico Valor de pH: 7,0 ± 1,0 <i>Temperaturas específicas ou faixas de temperatura nas quais ocorrem mudanças de estado físico:</i> Ponto de ebulição: 78,4°C Faixas de destilação: Pontos de congelamento: Ponto de fusão: - 114,4°C Temperatura de decomposição: Ponto de fulgor: 13°C Temperatura de auto-ignição: 363,0°C	Limites de explosividade: LEI: (limite de explosividade inferior): 3,3% LES:(limite de explosividade superior): 19,0% Pressão de vapor: 40 mmHg (a 19°C) Densidade de vapor: 1,59 (ar=1) Taxa de evaporação: 0,72% ao ano (em condições de armazenamento em tanque de superfície metálico atmosférico). Densidade: 789,3 kg/m ³ Solubilidade: Solúvel em água, éter etílico, clorofórmio, alcoóis e acetona. Coeficiente de partição água/octanol: Radioatividade:

b) Gasolina:

	Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPQ
PRODUTO: GASOLINA COMUM	Página 7 de 14
Data: 28/07/2014	Nº FISPQ: BR0051
Versão: 5	Anula e substitui versão: todas anteriores
- Proteção da pele e corpo:	Luvas de proteção de PVC, calçado de segurança e vestimenta protetora impermeável.
Proteção respiratória	Recomenda-se a utilização de respirador com filtro para vapores orgânicos para exposições médias acima da metade do TLV-TWA. Nos casos em que a exposição exceda 3 vezes o valor TLV-TWA, utilize respirador do tipo autônomo (SCBA) com suprimento de ar, de peça facial inteira, operado em modo de pressão positiva. Siga orientação do Programa de Prevenção Respiratória (PPR), 3ª ed. São Paulo: Fundacentro, 2002.
Perigos térmicos:	Não apresenta perigos térmicos.
9 - PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	
Aspecto (estado físico, forma e cor):	Líquido límpido e amarelado (isento de materiais em suspensão).
Odor e limite de odor:	Forte e característico.
pH:	Não aplicável
Ponto de fusão/ponto de congelamento:	Não disponível.
Ponto de ebulição inicial e faixa de temperatura de ebulição:	>35°C.
Ponto de fulgor:	< - 43 °C.

c) Óleo Cru

Número ONU	Nome do produto	Rótulo de risco
1267	PETRÓLEO	
Número de risco *	Classe / Subclasse	
	3	
Sinônimos ÓLEO CRU ; PETRÓLEO CRU		
Aparência LÍQUIDO OLEOSO; ESCURO; ODOR PICANTE; FLUTUA NA ÁGUA; PRODUZ VAPOR INFLAMÁVEL.		
Fórmula molecular NÃO PERTINENTE	Família química HIDROCARBONETO (MISTURA)	
Fabricantes Para informações atualizadas recomenda-se a consulta às seguintes instituições ou referências: ABIOQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química : Fone 0800-118270 ANDEF - Associação Nacional de Defesa Vegetal: Fone (11) 3081-5033 Revista Química e Derivados - Guia geral de produtos químicos, Editora QD: Fone (11) 3826-6899 Programa Agrofit - Ministério da Agricultura		
Ações a serem tomadas quando o produto entra em combustão COMBUSTÍVEL. EXTINGUIR COM PÓ QUÍMICO SECO, ESPUMA OU DIÓXIDO DE CARBONO. ESFRIAR OS RECIPIENTES EXPOSTOS, COM ÁGUA.		
Comportamento do produto no fogo NÃO PERTINENTE.		
Produtos perigosos da reação de combustão NÃO PERTINENTE.		
Agentes de extinção que não podem ser usados A ÁGUA PODE SER INEFICAZ.		
Limites de inflamabilidade no ar Limite Superior: DADO NÃO DISPONÍVEL Limite Inferior: DADO NÃO DISPONÍVEL		
Ponto de fulgor -6,7 °C A 32 °C (V. FECHADO)		

d) Querosene



Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPQ

PRODUTO: **QAV-1**

Página 5 de 10

Data: 23/05/2014

Nº FISPQ: BR0030

Versão: 2

Anula e substitui versão: todas anteriores

9 - PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Aspecto	Líquido claro e puro (isento de água e material em suspensão)
Odor	Característico e desagradável
Ph	Não aplicável.
Ponto de fusão/ponto de congelamento	Não disponível.
Ponto de ebulição inicial e faixa de temperatura de ebulição	>35°C
Ponto de fulgor	40 °C (vaso fechado)

ANEXO III – DOCUMENTOS DA BALANÇA:

SECTION 4 Caution

4.1 Battery

The battery must be recharged properly after use of the scale without Mains power. Normally; charge for 1.2 hr for each use of 1 hr of scale. If it is not used for longer time; than charge it continuously at least for 24 hours. Otherwise it will cause damage to battery.

Never connect battery in reverse polarity. Ensure that the Scale's +ve is connected with Battery +ve and Scale's -ve is connected with Battery -ve.

Remark: Before you begin to charge battery, please turn off the scale first.

4.2 Water/ Temperature

Protect your scale from Heavy Raining, Water flooding and also from Direct Sunlight and High temperatures (above 50 deg. C). This scale is not a Water proof scale.

4.3 Humidity

Protect it from the constant humidity; DO NOT install near humidifier

4.4 Magnetic Field

Do not install your scale near Strong Magnetic Field. It may damage delicate parts of your scale.

4.5 Repair / Maintenance

Do not try to open the scale by your self OR by unauthorized technical person. This may damage the scale permanently. Always contact your nearest dealer / service station for emergency repairs.

SECTION 5 Common Trouble Shooting

Following chart will show you the common trouble shooting.

Trouble	Insitruction	Possible Reason	Remedy
AC lamp is not glowing	Power may not be connected	1) The mains plug may be disconnected. 2) The power cable is damaged.	1) Insert the power plug or replace it if damaged. 2) Change the power cable.
Scale is not turning on with battery.	There is no DC power supply to the Scale	1) The storage battery is damaged 2) The battery connection are not proper	1) Replace the battery of the similar model. 2) Ensure that connections are in good condition.
Over voltage LED glows. Alarms and automatically turn off	Over Voltage	Battery is in use for too long time	1) Charge the battery 2) Change the battery is found damaged
Weight reading is unstable	Over voltage or affected by moisture	Insufficient voltage OR use of battery is prolonged even after the warning alarm OR too much humidity in surrounding	Charge the battery for at least 10 hours. Or clean the Mother PCB for drying.

Our products operates on approved quality management system and is certified to ISO 9001 : 2000, CE, CCC

ACS Series Price Computing Scale User Manual

SECTION 1 INTRODUCTION

The ACS series Price Computing Scale is Low Cost Highly accurate measuring equipment most suitable for Super markets, Grocery Stores and other retail outlets. This scale is made using Highly accurate and precise sensors. It has a capacity to store up to 8 unit prices and 99 accumulation memory. It is a versatile machine; because it also runs on rechargeable battery in case of lack of mains power. The scale will also automatically switched off when it is in non-use condition; in order to save power.

1.1 FEATURES

- o Specifications: 600g*2g, 3kg*1g, 6kg*2g, 15kg*5g, 30kg*10g
- o Precision: 1/3000F.S
- o AC 220v/110v and built-in Rechargeable battery
- o Storage up to 8 unit prices.
- o Accumulate operation (0-99)
- o Account Function, do memory recall, give change and memory clear one time
- o Auto shut off function to save power.
- o Display windows: Weight Window: 5 digits
Unit Price Window: 5 digits
Total Price Window: 6 digits

SECTION 2 DESCRIPTION

2.1 KEY DESCRIPTION

Each of the keys are shown and described for you.

ZERO	The ZERO key zeroes the scale.
TARE	The TARE key subtracts tare values and changes the ACS from gross mode (no tare) to net mode.
STORE	The STORE key used to store data in your scale.
Add	Add key will store and accumulate the value of weight and amount as and when pressed
M1 to M8	Stores unit price value at 8 different locations.
C	The C key is used for canceling the memorized data.
0-9	The NUMERIC key (0-9) is used for setting unit price data. DECIMAL POINT key is used for set the decimal position of unit price.

2.2 DISPLAY DESCRIPTION

Display Indicators

1. Tare Indicator : The TARE LED is located on the left side below the Weight Window
2. Zero Indicator : The ZERO LED is located on the right side below the Weight Window
3. Low Battery Indicator : Low Battery Indicator is located below the Unit Price Window
4. AC power indicator : AC Power LED/LCD is located below the Total Price Window

SECTION 3 OPERATION

3.1 GENERAL INSTRUCTION

1. When battery goes low, the "Low Battery" indicator will be turned on automatically. It is the time to charge the battery with the AC power.
2. Before starting using ACS, please check if the bubble is in the middle of the level ; if not, please make appropriate adjustment.
3. Allow ACS to warm-up for 10 minutes after switching on the power, for better results.

3.2 BASIC OPERATION

3.2.1 Zero the scale

When there is no item on the scale but reading is not zero, press the ZERO key to turn on ZERO indicator.

3.2.2 Weighing

Ensure that scale is in ZERO position and ZERO indicator is glowing; place an item for weighing on the pan. The Weight Window will display the weight of the item.

3.2.3 Tare

Put container on the platter, once the weight reading is stable, press the TARE key, the TARE indicator will be on and the container's weight will be deducted. When it is time to clear the TARE, take off the container, and press TARE key again.

3.2.4 Overload Warning

Please do not add item that is over the maximum capacity. When the scale is ringing an alarm, remove the item on the platter to avoid damage to the load cell.

3.2.5 Unit price setting

To trade with your ACS scale, it is necessary to setting a unit price of the goods, EPS-1 PR then uses this unit price to determine how much value of that goods (placed on the platter).

When ACS scale displaying the weight of the goods placed on the scale, set the unit price through numeric keys. Set unit price is showed in UNIT PRICE window display, TOTAL PRICE window display shows the total price of the goods. To cancel the previous unit price, press C key

3.3 ACCUMULATOR OPERATION

3.3.1 Prepare to accumulate

Each time before accumulate, please make sure the platter is empty, the current accumulator values is reset to zero, and the weight reading is stable.

3.3.2 Accumulation operation

Put the weighing item on platter, wait for the weight reading to be stable, press the Add key, the window will show Add n being the number of times a count operation had been performed.

If you have entered the Unit Price for that item; the accumulate operation will show the total of both - Weight as well as Price as follows:

Place an item on Platter; allow the scale reading to be stable; enter unit price using numeric keys, Unit-price window will show the Unit price and Total price window will show total price. Now, press Add key, it will store the value of weight and price both. Now, remove the first item from the platter, place another item on the scale; allow it to be stable, Enter Unit price using numeric keys, after-observing Unit price and Total price, press Add key again. The Unit price window will flash Add 2, and weight window as well as Total price window will show accumulated weight and accumulated price respectively.

You can carry on this way for 99 times with your ACS scale.

3.3.3 Accumulate Clear

You can clear the accumulated value by pressing C (Clear) key at any time.

3.4 UNIT PRICE STORAGE


ACS scale can store 8 sets unit price.

3.4.1 Store the unit price

Press STORE key; then enter desired unit price using numeric keys. Now press M* (*=1 to 8) key. The value will be stored into respective M* (* =1 to 8) key. If you have already entered any value in that key, it will be replaced by new value.

3.4.2 Load the unit price

If you want to use the unit price stored in the ACS, while weighing; then press respective M* (*= 1 to 8) key after the weighing display is stable. The Unit price will be loaded and it will be displayed in Unit Price Window.

VETOR TECNOLOGIA	 MATHIAS ENGENHARIA	QUALIDADE	Rev 00
		CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO	Data 29/01/2015

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO BALANÇA

CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO:

- Balança Computacional de Preço;
- Marca: Dahongying
- Modelo: ACS Series Price Computing Scale
- Faixa de operação: de 0 a 40kg
- Faixa de Tolerância (indicada em manual):
 - até 3kg: $\pm 1g$;
 - Até 6kg: $\pm 2g$;
 - Até 15kg: $\pm 5g$;
 - Até 30kg: $\pm 10g$;

Média de resultado de 3 medições, com corpos de prova calibrados a partir de blocos padrão:

Ensaio	Resultado	Ensaio	Resultado	Ensaio	Resultado
100g $\pm 1g$	103g	1kg $\pm 1g$	1,003kg	15kg $\pm 5g$	15,006kg
110g $\pm 1g$	112g	2kg $\pm 1g$	2,002kg	20kg $\pm 5g$	20,007kg
120g $\pm 1g$	122g	3kg $\pm 1g$	3,005kg	25kg $\pm 5g$	25,005kg
130g $\pm 1g$	133g	4kg $\pm 2g$	4,002kg	30kg $\pm 10g$	30,007kg
140g $\pm 1g$	142g	5kg $\pm 2g$	5,003kg	35kg $\pm 10g$	35,007kg
150g $\pm 1g$	151g	6kg $\pm 2g$	6,003kg	40kg $\pm 10g$	40,006kg
160g $\pm 1g$	162g	7kg $\pm 2g$	7,002kg		
170g $\pm 1g$	171g	8kg $\pm 2g$	8,003kg		
180g $\pm 1g$	180g	9kg $\pm 2g$	9,005kg		
190g $\pm 1g$	190g	10kg $\pm 2g$	10,003kg		

- Faixa de Tolerância indicada após ensaios:
 - até 3kg: $\pm 5g$;
 - Até 6kg: $\pm 5g$;
 - Até 15kg: $\pm 10g$;
 - Até 30kg: $\pm 10g$;

Inspetor da Qualidade  Jair Mathias Inspetor da Qualidade Grupo Vetor Mathias	Coordenador Qualidade  Eng. Sandro R. Duarte Coordenador de Qualidade Vetor Tecnologia Ltda	Gerente Eng. QSMS  Raphael A. A. de Oliveira Gerente de Engenharia Vetor Engenharia e Tecnologia
---	---	--

Relatório de Calibração da Balança

ANEXO IV – DADOS METEREOLÓGICOS DE CURITIBA:

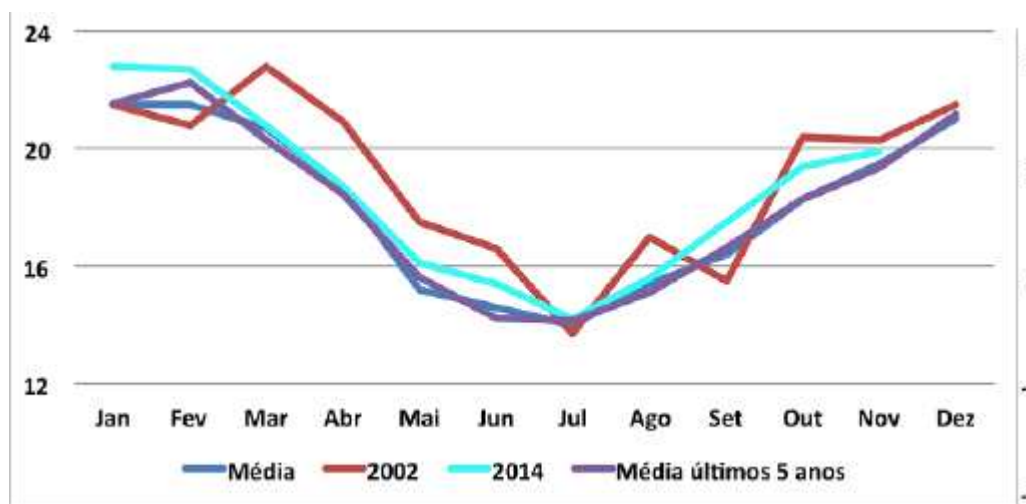


FIGURA 46 – TEMPERATURA MÉDIA EM CURITIBA NOS ÚLTIMOS 5 ANOS
 FONTE: Simepar

TABELA 24 – TEMPERATURA MÉDIA EM CURITIBA NOS ÚLTIMOS 5 ANOS

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
Temp (°C)	21	22	20	18	16	14
Mês	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Temp (°C)	21	22	20,5	18	16	14

FONTE: Simepar