

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

MATHEUS BIZINOTTO REZENDE

ANÁLISE DE VIABILIDADE: AUTOMAÇÃO DE UMA
PLATAFORMA DE CARREGAMENTO DE COMBUSTÍVEIS

São Carlos

2016

MATHEUS BIZINOTTO REZENDE

ANÁLISE DE VIABILIDADE: AUTOMAÇÃO DE UMA
PLATAFORMA DE CARREGAMENTO DE COMBUSTÍVEIS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecatrônica, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Becker

São Carlos

2016

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

R467a Rezende, Matheus Buzinotto
Análise de viabilidade : automação de uma
plataforma de carregamento de combustíveis / Matheus
Buzinotto Rezende; orientador Marcelo Becker. São
Carlos, 2016.

Monografia (Graduação em Engenharia Mecatrônica) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, 2016.

1. Análise de viabilidade. 2. Automação. 3.
Plataforma de carregamento de combustíveis. 4.
Autotank. 5. Centro de distribuição. I. Título.

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Candidato: Matheus Bizinotto Rezende

Título: Análise de viabilidade: automação de uma plataforma de carregamento de combustíveis

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo
Curso de Engenharia Mecatrônica.

BANCA EXAMINADORA

Professor Doutor Marcelo Becker (Orientador)

Nota atribuída: 9,0 (nove)

Marcelo Becker
(assinatura)

Professor Doutor Adriano Almeida Gonçalves Siqueira

Nota atribuída: 9,0 (nove)

Adriano Siqueira
(assinatura)

Professor Doutor Daniel Varela Magalhães

Nota atribuída: 9,0 (nove)

Daniel Varela Magalhães
(assinatura)

Média: 9,0 (nove)

Resultado: APROVADO

Data: 25/11/2016

Este trabalho tem condições de ser hospedado no Portal Digital da Biblioteca da EESC

SIM ☒ NÃO ☐ Visto do orientador

Marcelo Becker

*Aos meus pais pela compreensão,
carinho e apoio incansável.*

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que
ninguém viu, mas pensar o que
ninguém ainda pensou sobre aquilo
que todo mundo vê.”*

Arthur Schopenhauer

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pelo apoio incondicional durante todos os momentos de minha vida, pela paciência, carinho e compreensão sempre que necessário. Em especial à minha mãe, Maria Aparecida, que sempre me incentivou nos estudos e na minha formação, e a meu pai, João Gilberto, pelos valores que me ensinou, incluindo dedicação, respeito e comprometimento. A ambos pelo amor que sempre dedicaram a mim e por tudo que me proporcionaram.

Agradeço aos professores que ajudaram no meu desenvolvimento acadêmico e profissional, e em especial ao meu orientador, Marcelo Becker, cujo apoio foi fundamental para a elaboração desse trabalho.

Agradeço a todos os amigos que fiz durante esses anos, pelos momentos de diversão e pelo companheirismo, sem os quais tudo teria sido mais difícil.

Agradeço à minha amiga e namorada, Caroline Franco, pela compreensão e apoio nas ocasiões em que mais precisei.

RESUMO

REZENDE, M.B. **Análise de viabilidade:** automação de uma plataforma de carregamento de combustíveis. 2016. 92p. Monografia (TCC) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

O processo adotado atualmente para o carregamento de caminhões tanque em centros de distribuição de combustíveis é muito similar ao de décadas atrás. Em todo esse tempo, algumas mudanças ocorreram visando aumentar a segurança ou a eficiência da operação. Sempre existiu, no entanto, a necessidade do trabalho de um ser humano em todo o processo de carregamento, geralmente operadores ou motoristas dos veículos. Isso traz riscos reais à segurança e à saúde dos mesmos. A falha humana também traz perdas financeiras e riscos ao meio ambiente, devido a incidentes causados por falta de atenção ou quebra de procedimento. A proposta desse trabalho é expor o conceito de uma plataforma de carregamento de combustíveis automatizada, fazendo análises de viabilidade técnica, financeira e de segurança do projeto. Ao final, concluímos que a automação proposta é tecnicamente viável e traz diversos ganhos em termos de segurança e eficiência à operação, mas pode não ser interessante do ponto de vista financeiro às companhias responsáveis pela administração dos centros de distribuição de combustíveis.

Palavras-chave: Análise de viabilidade. Automação. Plataforma de carregamento de combustíveis. Autotanque. Centro de distribuição.

ABSTRACT

REZENDE, M.B. **Feasibility analysis**: automation of a fuel loading platform. 2016. 92p. Monograph (TCC) - School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2016.

The process currently adopted for the loading of tanker trucks in fuel distribution centers is very similar to that of decades ago. During all this time, some changes have been made to increase the safety or efficiency of the operation. There has always been, however, the need for the work of a human being throughout the loading process, usually operators or drivers of vehicles. This poses real risks to their safety and health. Human failure also brings financial losses and risks to the environment, due to incidents caused by lack of attention or breakdown of procedure. The purpose of this work is to expose the concept of an automated fuel loading platform, making technical, financial and safety feasibility analysis of the project. By the end, we conclude that the proposed automation is technically feasible and brings several gains in terms of safety and efficiency to the operation, but may not be financially interesting to the companies responsible for the administration of the fuel distribution centers.

Keywords: Feasibility analysis. Automation. Platform of fuel loading. Autotank. Distribution center.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Vista de um Sistema Automatizado de Carregamento de Combustíveis.....	16
Figura 2: Plataforma de Carregamentos de Autotanques.....	17
Figura 3: Motorista Subindo no Autotanque.....	18
Figura 4: Posicionamento do Braço de Carregamento.....	18
Figura 5: Plataforma com Diversas Baías de Carregamento.....	19
Figura 6: Escada Pantográfica.....	20
Figura 7: Computador de Carregamento.....	20
Figura 8: Braço Articulado de Carregamento.....	22
Figura 9: Redutor de Derrames e Setas do Compartimento do AT.....	23
Figura 10: Sistema de Aterramento.....	24
Figura 11: Pedal do Sistema Dead Man.....	25
Figura 12: Medidores do tipo Deslocamento Positivo e Turbina.....	26
Figura 13: Válvula de Controle de Fluxo.....	27
Figura 14: Operação de uma Válvula de Controle de Fluxo.....	28
Figura 15: Sistema de Carregamento Bottom Loading.....	29
Figura 16: Braço de Carregamento do Sistema Bottom Loading.....	29
Figura 17: Motorista Acoplando o Braço no Carregamento Bottom.....	30
Figura 18: Comparativo Internacional das Matrizes de Transporte.....	31
Figura 19: Dispositivo de Posicionamento de Vagões.....	33
Figura 20: Esquema de um Sistema de Carregamento de Vagões Automatizado.....	33
Figura 21: Manipulador do braço do Sistema de Carregamento.....	34
Figura 22: Braço de Carregamento.....	35
Figura 23: Braço de Carregamento Posicionado.....	35
Figura 24: Sistema de Vedação do Bocal do Vagão.....	36
Figura 25: Tubulação Articulada que Abastece o Braço.....	36
Figura 26: Motorista Trabalhando Sobre o Autotanque.....	43
Figura 27: Trava Quedas e Cinto Paraquedista.....	44
Figura 28: Escada Pantográfica Simples e com Guarda Corpo.....	45
Figura 29: Evolução das Causas de Incidentes.....	49
Figura 30: Tipos de Manipuladores Robóticos.....	53
Figura 31: Custo de Atuadores em Função da Capacidade de Carga.....	54

Figura 32: Manipulador e Braço de Carregamento Durante o Posicionamento.....	55
Figura 33: Eixos Adotados Para Posicionamento do Manipulador.....	56
Figura 34: Envelope de Posicionamento do Braço de Carregamento.....	57
Figura 35: Mecanismos de Abertura das Tampas de Autotanques.....	60
Figura 36: Interface Touchscreen e Exemplo de Seleção de Carregamento.....	62
Figura 37: Preços Médios da Gasolina em Diferentes Etapas da Cadeia.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Incidentes e Frequência de Ocorrência.....	48
Tabela 2: Tipos de Atuadores e Suas Características.....	54
Tabela 3: Tempos dos Carregamentos Acompanhados.....	68
Tabela 4: Redução dos Tempos de Carga.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AT	Autotanque
EPI	Equipamentos de proteção individual
NR	Norma regulamentadora
VT	Vagão-tanque

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS.....	16
3	OPERAÇÃO ATUAL.....	17
3.1	DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO TOP LOADING	17
3.2	ESTRUTURA E EQUIPAMENTOS	19
3.2.1	BAIAS DE CARREGAMENTO.....	19
3.2.2	COMPUTADOR DE CONTROLE DE CARREGAMENTO.....	20
3.2.3	BRAÇO DE CARREGAMENTO.....	21
3.2.4	REDUTOR DE DERRAMES	23
3.2.5	SISTEMA DE ATERRAMENTO.....	24
3.2.6	SISTEMA DEAD MAN	25
3.2.7	MEDIDOR DE VOLUME.....	25
3.2.8	VÁLVULA DE CONTROLE DE FLUXO	27
3.3	SISTEMA BOTTOM LOADING	28
3.4	CARREGAMENTO DE VAGÕES TANQUE.....	30
3.4.1	CONTEXTO	30
3.4.2	TECNOLOGIAS	32
4	ANÁLISE DE SEGURANÇA	37
4.1	TRABALHO COM INFLAMÁVEIS E COMBUSTÍVEIS.....	38
4.2	CHOQUES MECÂNICOS, CORTES E ESMAGAMENTOS	42
4.3	TRABALHO EM ALTURA.....	43
4.4	ERGONOMIA, ESFORÇO E FADIGA.....	45
4.5	RISCOS AO MEIO AMBIENTE.....	46
4.6	ANÁLISE DE INCIDENTES	47
4.7	ANÁLISE DO CARREGAMENTO BOTTOM-LOADING	49
5	PROPOSTA DE AUTOMAÇÃO.....	51
5.1	ESTRUTURA.....	51
5.2	MANIPULADOR.....	52
5.3	BRAÇO DE CARREGAMENTO	59
5.4	SISTEMA DE DETECÇÃO DO BOCAL DE CARREGAMENTO.....	60
5.5	INTERFACE E COMPUTADOR DE CARREGAMENTO.....	61
5.6	PROCEDIMENTO OPERACIONAL DE CARREGAMENTO.....	63

6	ANÁLISE FINANCEIRA.....	64
6.1	REDUÇÃO NO TEMPO DE CARREGAMENTO	65
6.2	GASTOS COM MANUTENÇÃO E TREINAMENTOS	72
6.3	INVESTIMENTO NECESSÁRIO	73
6.4	RETORNO FINANCEIRO	74
7	CONCLUSÃO.....	78
	REFERÊNCIAS	80
	ANEXO A	84
	ANEXO B	92

1 INTRODUÇÃO

Esta monografia apresenta o conceito de uma plataforma de carregamento de combustíveis automatizada para caminhões tanque. Serão analisados os aspectos técnicos, financeiros e os impactos em termos de segurança. Ao final do trabalho, será feito um levantamento dos prós e contras envolvidos no desenvolvimento e aplicação de tal projeto do ponto de vista prático.

A motivação de tal trabalho surgiu durante um estágio em um terminal de distribuição de combustíveis. Durante esse período o autor desse trabalho teve a oportunidade de aprender sobre como as operações são realizadas atualmente nesses locais.

Nesses centros, as plataformas de carregamento são o pilar da movimentação financeira, pois são nelas que o combustível é carregado nos autotanques e, em seguida, transportado até postos, usinas, portos, aeroportos ou mesmo outros terminais de distribuição.

Desde o primeiro contato do autor com o processo atual de carregamento houve um questionamento quanto à maneira como o processo é realizado, envolvendo trabalhos manuais de motoristas em altura, contato indireto com substâncias tóxicas e manipulação de equipamentos de grande porte. Os motoristas estão sujeitos ao cansaço, estresse e à falta de atenção, o que pode gerar incidentes, gastos com manutenção devido ao manuseio incorreto dos equipamentos, contaminações ou mesmo derrames devido à falha humana.

A tecnologia usada hoje nas plataformas de carregamento é similar à de décadas atrás, apenas surgiram algumas alterações visando garantir maior segurança ao processo, aperfeiçoar o controle ou reduzir o tempo do processo. No entanto, sempre foi necessária a atuação direta de um ser humano no processo de manipulação do braço de carregamento da plataforma até o compartimento do AT, o que usualmente é feito por motoristas ou operadores, e isso envolve risco direto à segurança e à saúde do indivíduo envolvido. Para reduzir esses riscos, são oferecidos treinamentos aos motoristas envolvidos na operação. No entanto, queremos propor um sistema em que não haja nenhum contato humano com os equipamentos de carregamento, visando minimizar ainda mais os riscos.

Uma plataforma capaz de identificar a posição dos bocais dos compartimentos do caminhão tanque e posicionar os braços de carregamento automaticamente no

interior dos mesmos, além de identificar situações incomuns e tomar as devidas sem necessidade de ação humana traria um grande avanço ao modo como esse processo é feito atualmente em termos de segurança e, possivelmente, de tempo de carregamento.

Logicamente, tal projeto requer um alto investimento financeiro para ser colocado em prática e, por esse motivo, a análise financeira também será abordada neste trabalho.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho procura apresentar o conceito de uma plataforma de carregamento de combustíveis para autotanques totalmente automatizada, com aplicabilidade em centros de distribuição de combustíveis.

O principal benefício trazido pela aplicação de tal projeto seria a eliminação do trabalho humano durante o carregamento de combustíveis, um processo altamente perigoso devido à presença constante de vapores inflamáveis na plataforma e aos riscos envolvendo derrames ou contaminações devido à falha humana.

Após o posicionamento do AT na plataforma de carregamento, câmeras posicionadas diretamente acima do veículo fariam a identificação dos bocais de carregamento com uso de técnicas de visão computacional e, determinada a posição dos mesmos, atuadores seriam responsáveis pelo posicionamento do braço de carregamento no interior do compartimento.

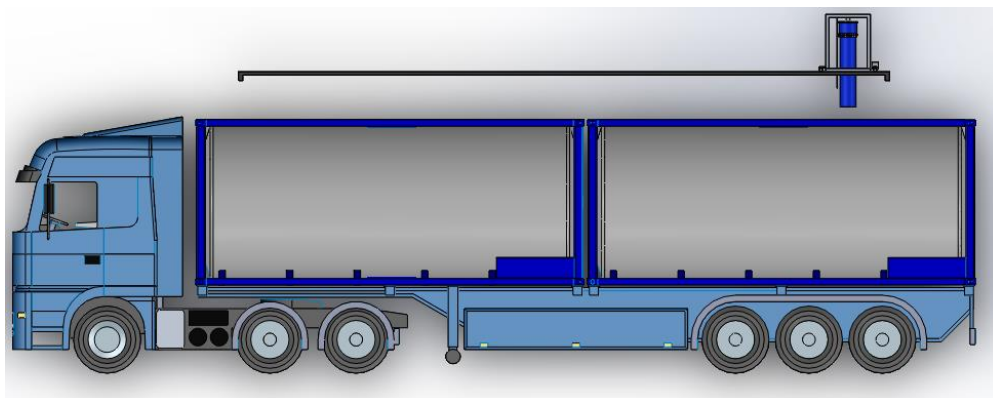


Figura 1: Vista de um Sistema Automatizado de Carregamento de Combustíveis

Após confirmação humana em uma interface localizada na plataforma, o carregamento seria iniciado e, após a finalização do mesmo, o braço seria recolhido para sua posição original e o motorista estaria liberado para sair da plataforma.

Aspectos técnicos, questões financeiras e impactos na segurança do trabalho serão abordados no decorrer deste trabalho, procurando demonstrar a viabilidade de implantar plataformas automatizadas em centros de distribuição de combustíveis.

3 OPERAÇÃO ATUAL

3.1 DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO TOP LOADING

No processo realizado atualmente para carregamento *top loading*, ou carregamento “por cima”, o motorista do caminhão tanque se dirige à plataforma de carregamento (figura 2) após dar entrada no centro de distribuição e posiciona o AT no local destinado ao mesmo. Após desligar o veículo e colocar os equipamentos de proteção individual adequados, o motorista desce do autotanque, deixando quaisquer equipamentos eletrônicos que possua desligados dentro da cabine por motivos de segurança, e sobe as escadas da baia até a ilha de carregamento.



Figura 2: Plataforma de Carregamento de Autotanques [1]

Na ilha, o mesmo abaixa a escada pantográfica de modo que ela toque na lateral do AT e, após se prender ao dispositivo trava-quedas, sobe no AT (figura 3). Após abrir a escotilha do compartimento a ser carregado, o motorista posiciona o braço de carregamento do produto em questão sobre o bocal e abaixa a extremidade do mesmo

até que ele toque o fundo do compartimento, travando-o nessa posição (figura 4). Em seguida, o mesmo retorna para a ilha de carregamento e entra com seus dados no computador localizado no local, iniciando então o carregamento.



Figura 3: Motorista Subindo no Autotanque [2]

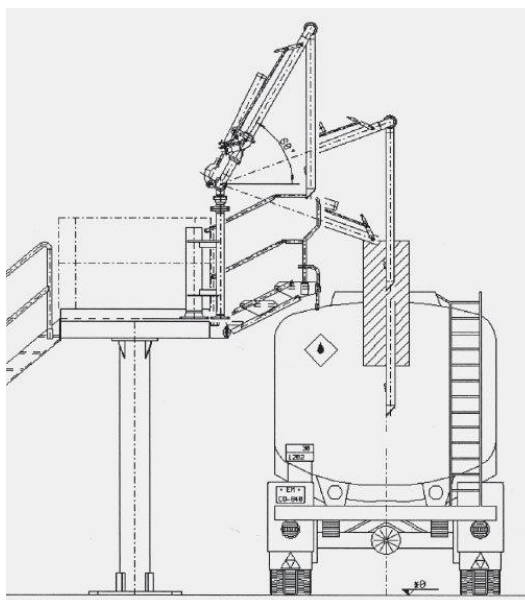


Figura 4: Posicionamento do Braço de Carregamento [3]

Finalizado o carregamento do compartimento, o motorista retorna ao topo do AT e remove o braço do compartimento, fechando a escotilha em seguida. No caso de haver outros compartimentos a serem carregados o processo se repete, podendo haver alteração do braço de acordo com o produto requerido.

Durante todo o processo, operadores do terminal de distribuição estão percorrendo a plataforma, prontos para auxiliar os motoristas em caso de necessidade.

3.2 ESTRUTURA E EQUIPAMENTOS

Essa seção tem como propósito descrever a estrutura de uma plataforma de carregamento de combustíveis e os equipamentos, componentes e dispositivos de segurança utilizados no processo *top loading*.

3.2.1 BAIAS DE CARREGAMENTO

Na estrutura organizacional adotada em centros de distribuição de combustíveis, as plataformas de carregamento são divididas em subdivisões, ou baias (figura 5). Cada baia é uma seção da plataforma capaz de acomodar o posicionamento de um autotanque por vez, contendo um número limitado de braços de carregamento para determinados produtos.



Figura 5: Plataforma com Diversas Baias de Carregamento [4]

As baias são devidamente identificadas para permitir o controle do fluxo de autotanques por meio da equipe da central de controles localizada na entrada do centro de distribuição, que identifica quais produtos e volumes serão carregados por cada motorista com base na nota de compra apresentada pelo mesmo, faz a programação da viagem no sistema de automação do terminal, e o direciona para uma baia que atenda às necessidades da carga.

Após posicionar o autotanque na baia de carregamento, o motorista sobe as escadas da baia para chegar na ilha de carregamento, local onde estão o computador de controle de carregamento e demais equipamentos de uso operacional e de segurança da plataforma.

Localizada na lateral da ilha de carregamento está a escada pantográfica (figura 6), a qual deve ser apoiada na lateral do AT para permitir que o motorista tenha acesso ao topo do mesmo. As escadas pantográficas são feitas de aço-carbono ou alumínio,

possuem corrimão, piso vazado antiderrapante e trava para posição de descanso. Na aresta da base que se apoia na lateral do caminhão usa-se um revestimento de borracha para evitar que ocorram faíscas devido ao atrito da escada com a lateral do AT.



Figura 6: Escada Pantográfica [5]

Uma vez que a escada pantográfica está devidamente apoiada na lateral do caminhão, o motorista pode subir no AT contanto que esteja usando o cinto paraquedista e que o mesmo esteja acoplado no dispositivo trava-quedas.

3.2.2 COMPUTADOR DE CONTROLE DE CARREGAMENTO

O computador responsável por controlar o carregamento de combustíveis está localizado na ilha de carregamento. A figura 7 mostra o Danload, um equipamento muito utilizado em centros de distribuição. É utilizado com diferentes níveis de automação, mas o processo mais seguro e eficiente envolve uma programação da carga que é feita no momento em que o AT entra no terminal.



Figura 7: Computador de Carregamento [6]

Cada motorista deve digitar o seu código de identificação e o número da sua viagem, atribuído no momento da entrada do mesmo no terminal. Feito isso o motorista tem acesso aos produtos e volumes de sua carga, conforme a programação feita pela

central de controle no momento da entrada do mesmo no terminal. Após ter posicionado o braço de carregamento, o motorista seleciona o produto em questão, confirma o volume apresentado na tela, e pressiona a tecla de “start” para iniciar o carregamento. A qualquer momento o mesmo pode pressionar a tecla “stop” para parar o carregamento, caso identifique algo incomum.

Durante o carregamento o display do Danload mostra o volume de produto e a vazão do mesmo, permitindo que haja um controle e acompanhamento do processo.

Além disso, caso quaisquer situações incomuns sejam identificadas pelo Danload em relação à posição do braço de carregamento, do sistema de aterramento, do nível de produto ou à vazão na tubulação, a válvula pneumática instalada na tubulação se fecha imediatamente e o computador fica bloqueado demonstrando um alarme, que só pode ser retirado pela equipe de supervisão do terminal após devida inspeção.

O computador só permite o carregamento de um braço por vez, de modo que não é possível carregar diversos compartimentos simultaneamente. Isso se deve principalmente ao fato de que a movimentação do motorista no topo do AT seria muito perigosa caso diversos braços estivessem posicionados ao mesmo tempo, considerando que o mesmo precisa se deslocar sobre o autotanque durante todo o processo. Como esse procedimento é considerado trabalho em altura com risco de quedas, optou-se por adotar o procedimento de carregar apenas um braço por vez no sistema *top loading*, por motivos de segurança. Além disso, caso fosse permitido o carregamento simultâneo de diversos braços, seria possível que em algumas situações um ou mais braços ficassem com sua mobilidade limitada devido ao posicionamento dos demais, impedindo o travamento do mergulhador em uma posição que garantisse contato com o fundo do AT.

3.2.3 BRAÇO DE CARREGAMENTO

Cada braço de carregamento é dedicado a um único produto. Diferentes produtos não podem compartilhar um mesmo braço para evitar problemas de contaminação durante o carregamento. Uma extremidade do braço é conectada na tubulação fixa por meio de flanges e na outra extremidade se encontra o mergulhador, seção que fica dentro do compartimento durante o processo de enchimento (figura 8).

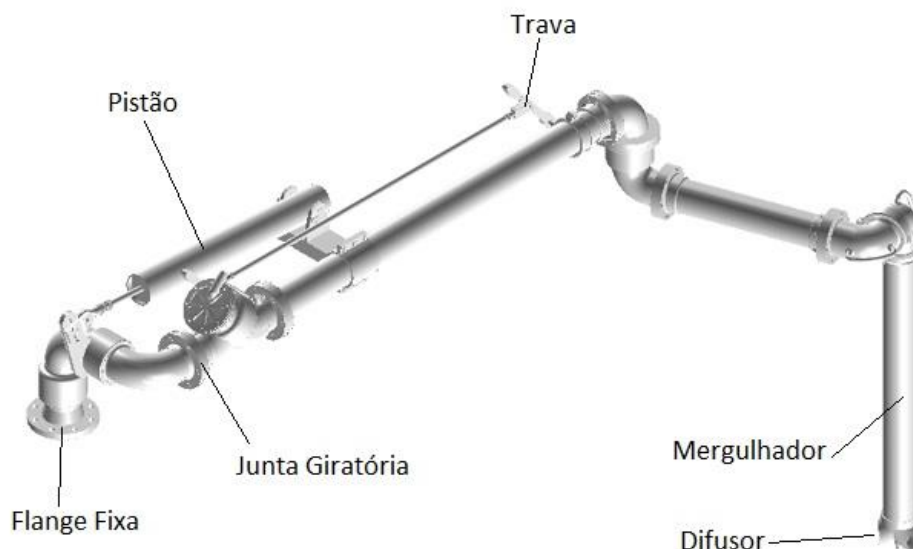


Figura 8: Braço Articulado de Carregamento [7]

O braço é composto por tubulações de aço carbono de comprimento fixo conectados por juntas rotativas que permitem um certo grau de mobilidade entre a posição de descanso, na qual o mergulhador se encontra apoiado sobre uma bandeja de conecção de respingos, e a posição de carregamento, no qual o mergulhador deve ser abaixado dentro do compartimento até tocar o fundo do mesmo, sendo então travado nessa posição pelo motorista.

O braço de carregamento possui um dispositivo capaz de detectar se o mesmo se encontra abaixado ou levantado. Trata-se de uma ampola preenchida com mercúrio. Quando o braço está na posição de descanso, levantado, o mercúrio se acumula na extremidade da ampola. Quando o braço é rebaixado, na posição de carregamento, o mercúrio se distribui e fecha um contato elétrico. Esse contato elétrico é reconhecido pelo computador de carregamento, que só permite o início do carregamento quando o braço estiver devidamente rebaixado. Desse modo, evita-se que, por algum erro humano, o carregamento seja iniciado com o braço de carregamento levantado, o que geraria um derrame de produto na plataforma.

Durante o carregamento, o atrito do fluido com as paredes internas das tubulações do braço de carregamento e o efeito de “splash” gerado quando o fluido começa a ser injetado no compartimento gera acúmulo de eletricidade estática no fluido. Isso pode levar à geração de alguma faísca durante o carregamento, o que pode ter efeitos desastrosos devido à atmosfera altamente inflamável presente no local. Para

diminuir esses riscos, deve-se encostar o mergulhador do braço de carregamento no fundo do compartimento para garantir continuidade elétrica entre o braço e o autotanque, garantindo que ambos se encontram no mesmo potencial elétrico. Além disso, o AT deve estar aterrado por meio do sistema de aterramento da baia de carregamento, o que leva à dissipação das cargas acumuladas.

A vazão inicial de carregamento é mantida em um valor razoavelmente baixo, de aproximadamente 480 l/min, razoável para minimizar efeitos de splash quando o compartimento está vazio. Carregados 300 litros, volume estipulado como sendo usualmente suficiente para cobrir a ponta do mergulhador, a vazão sobe para 1800 l/min, vazão máxima admissível devido à elevada geração de eletricidade estática no processo. Ao final do carregamento, faltando 300 litros para a finalização do mesmo, a vazão é novamente reduzida para 480 l/min. O objetivo disso é não sobrecarregar a válvula de controle de vazão da linha que, desse modo, faz uma redução menos brusca da vazão ao final da carga.

3.2.4 REDUTOR DE DERRAMES

O redutor de derrames (figura 9) é um equipamento que tem como função evitar que ocorram derrames de combustível devido ao transbordamento de um compartimento.

Usualmente usa-se um cilindro fino revestido por um tubo metálico contendo um sensor óptico que identifica a presença de fluido. O redutor deve ser fixado no bocal do compartimento com a extremidade apoiada na “seta” marcadora do volume a ser carregado no compartimento, demonstrada na figura 9.

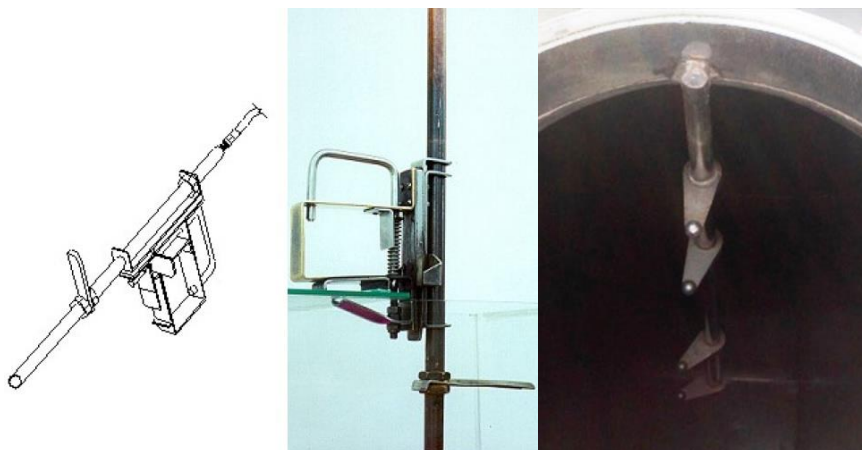


Figura 9: Redutor de Derrames e Setas do Compartimento do AT [8]

Caso o nível de produto atinja a altura do sensor, o mesmo detectará a presença de fluido e enviará um sinal de bloqueio para o computador da baia, que cessa imediatamente o carregamento.

Esse equipamento é de grande utilidade pois existem casos em que compartimentos de autotanques chegam ao terminal de carregamento contendo um volume significativo de produto em seu interior devido a alguma descarga feita de maneira incorreta no cliente. Isso poderia levar a um derrame, considerando que o volume injetado não depende do já existente no compartimento. Além disso, caso o AT tenha compartimentos de volumes diferentes e o motorista inicie um carregamento de volume maior em um compartimento de volume menor, poderia haver transbordamento de produto.

3.2.5 SISTEMA DE ATERRAMENTO

Antes de subir na ilha de carregamento, o motorista do AT deve aterrar o autotanque ficando a garra do sistema de aterramento da baia na haste metálica do autotanque (figura 10). Esse processo dissipa quaisquer cargas acumuladas no AT e garante que o mesmo se encontra no mesmo potencial das tubulações e do braço da baia de carregamento, diminuindo o risco de faíscas durante o carregamento devido ao acúmulo de eletricidade estática. Quando a garra de aterramento é fixada na haste metálica do veículo, fecha-se o circuito de aterramento por meio da conexão elétrica entre os dois dentes do alicate, cada dente conectado a um fio do cabo do equipamento. Quando isso ocorre, a luz verde se acende e o sistema envia um sinal de liberação para o computador de carregamento da baia.



Figura 10: Sistema de Aterramento [8]

Caso o alicate esteja na posição de descanso não ocorre contato entre os dentes do mesmo, o que não fecha o circuito e, portanto, envia um sinal de bloqueio para o computador de carregamento. Nesse caso, a luz vermelha se acende, indicando que o sistema não está aterrado. Caso o fio se rompa ou o alicate se solte durante o carregamento, o monitor de aterramento reconhece imediatamente o ocorrido e envia um sinal para o computador de carregamento, que cessa o carregamento instantaneamente.

Ao final do carregamento, o motorista retira o alicate de aterramento do AT e o posiciona na haste de descanso.

3.2.6 SISTEMA DEAD MAN

O sistema *dead man* consiste em um pedal (figura 11) instalado na ilha de carregamento que, ao ser pressionado, promove a abertura da uma válvula pneumática instalada entre a tubulação e o braço de carregamento.

O propósito desse sistema é garantir que o responsável pelo carregamento, no caso o motorista, está presente durante todo o processo, atento para agir caso algo incomum venha a ocorrer.

Se em algum momento o pé do responsável for retirado do pedal, a válvula pneumática se fecha instantaneamente e o carregamento é interrompido.



Figura 11: Pedal do Sistema Dead-Man [9]

3.2.7 MEDIDOR DE VOLUME

O medidor de volume é o equipamento responsável pela determinação do volume que foi carregado no autotanque e, portanto, é de extrema importância que esteja calibrado e em perfeitas condições de funcionamento.

Há diferentes tipos de medidores de volume, dentre os quais [11]:

- Medidores de turbina
- Medidores de deslocamento positivo
- Medidores ultrassônicos
- Medidores de pressão diferencial
- Medidores coriolis

O medidor do tipo turbina está entre os mais utilizados. O mesmo consiste de um rotor com lâminas de hélice que gira quando um líquido qualquer passa através dele. A velocidade de rotação do rotor é proporção à vazão. Um sensor magnético detecta o movimento de rotação da turbina e, desse modo, determina a vazão. Integrando-se a vazão ao longo do tempo de carregamento obtém-se o volume carregado. Nesse tipo de medidor não podem haver curvas acentuadas ou flanges na tubulação próxima, para evitar formação de vórtices que possam comprometer a medição.

Outro medidor muito usado é o de deslocamento positivo. O princípio de funcionamento consiste na passagem do fluido ao longo de um mecanismo composto de várias células ou divisões de volume igual. O fluido que passa gira este mecanismo, causando desse modo a passagem do fluido através do corpo do medidor em uma série de porções iguais. O mecanismo de rotação aciona um contador que lê o número de rotações efetuadas e, devido ao volume conhecido de cada porção, calcula o volume total movimentado em qualquer momento.

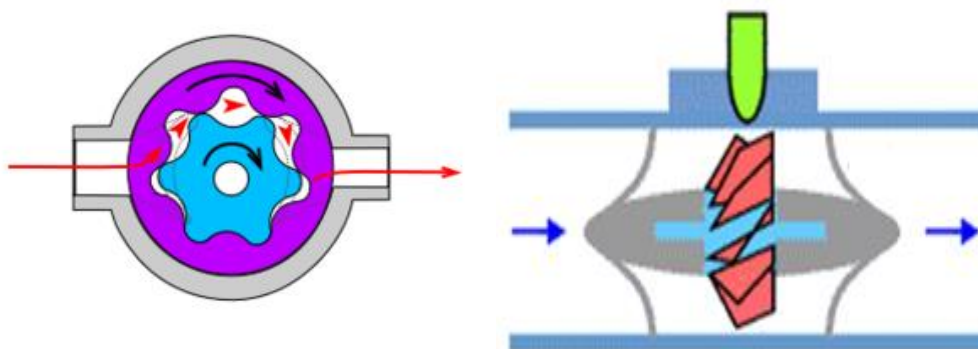


Figura 12: Medidores do Tipo Deslocamento Positivo e Turbina [11]

Um sensor de temperatura localizado próximo ao medidor é necessário para converter o volume carregado à temperatura ambiente para o volume à temperatura de 20°C, temperatura padrão de conversão utilizada quando se lida com transferência de combustíveis no Brasil. Em outros países essa temperatura pode variar.

Filtros são instalados antes do medidor para evitar que impurezas venham a se acumular ou danificar o mesmo, o que poderia gerar medições imprecisas de volume.

3.2.8 VÁLVULA DE CONTROLE DE FLUXO

A válvula de controle de fluxo é a responsável por controlar a vazão de produto durante o processo de carregamento. Ela é composta por duas solenóides conforme a figura 13, que são energizadas e desenergizadas a fim de controlar o fluxo de líquido. Uma das solenóides é normalmente aberta (NA) e a outra é normalmente fechada (NF), conforme ilustrado na figura 13.



Figura 13: Válvula de Controle de Fluxo [8]

O princípio de funcionamento depende da pressão aplicada sobre o diafragma localizado no interior da válvula. Quando as solenóides estão desenergizadas, a válvula está fechada, como mostrado na figura 14(a). Quando as mesmas estão energizadas, figura 14(b), a pressão no ponto x é alta e no ponto z é baixa, portanto a diferença de pressão força o pistão a abrir empurrando produto do interior através de z. Nessa configuração, a válvula está totalmente aberta, logo a vazão é máxima. Na operação a baixa vazão, figura 14(c), a solenoide NA está energizada e a solenoide NF desenergizada. A pressão no ponto x é alta, no ponto z é baixa e no ponto y é média. Como a diferença de pressão entre x e y é pequena, a força que empurra o pistão também será [8].

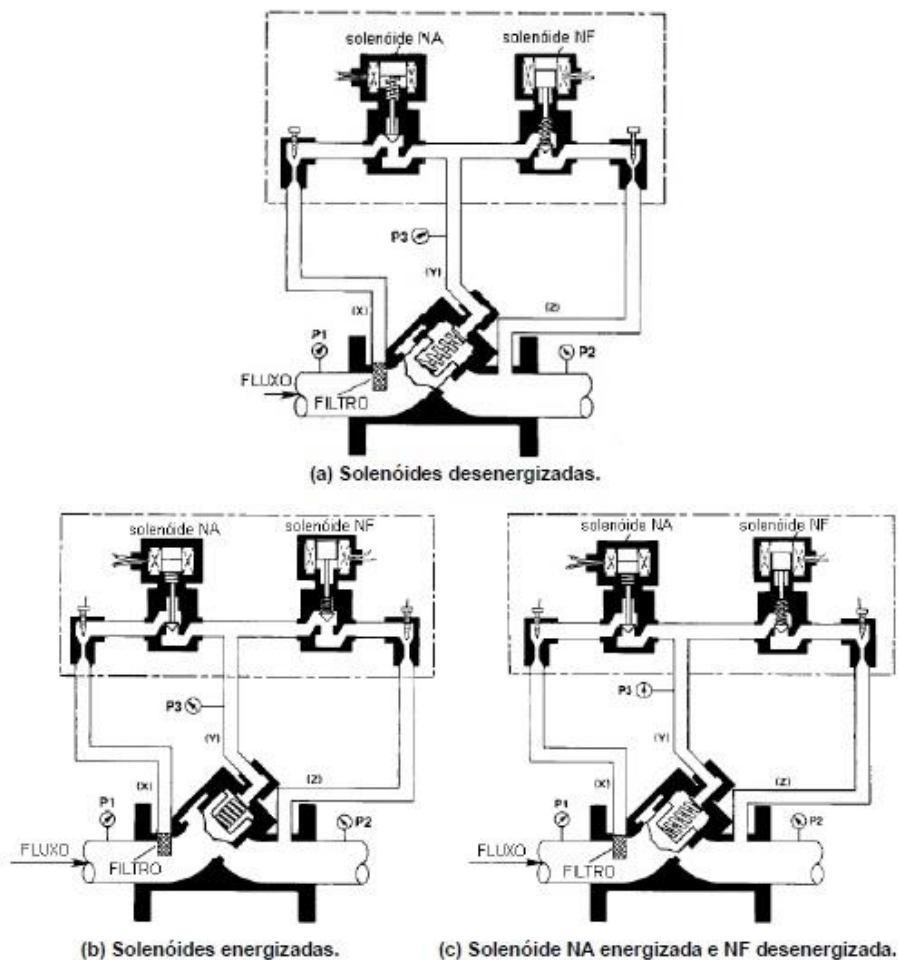


Figura 14: Operação de uma Válvula de Controle de Fluxo [8]

Desse modo, as solenóides são automaticamente energizadas e desenergizadas em instantes de tempo extremamente curtos de forma a ajustar a válvula para operar na vazão configurada, considerando uma margem de erro.

3.3 SISTEMA BOTTOM LOADING

O sistema de carregamento *bottom loading*, ou carregamento “por baixo” (figura 15), trata-se de um processo mais recente e eficiente do que o carregamento *top loading*. É um modal que tem se popularizado fortemente no segmento de carregamento de combustíveis no Brasil e exterior.

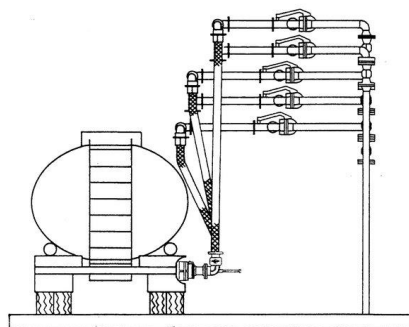


Figura 15: Sistema de Carregamento Bottom Loading [12]

Nesse modal os braços de carregamento são acoplados nos bocais laterais do autotanque. Esse bocais tem como função principal a descarga do combustível. Esse sistema permite o carregamento simultâneo de diversos braços da baía em questão, uma vez que, nesse caso, a manipulação de diversos braços não é mais um fator de risco, pois todo o trabalho é realizado no chão.

A principal vantagem desse sistema em relação ao *top loading* é a eliminação do trabalho em altura e a redução do tempo de carregamento, consequência do carregamento simultâneo de diversos compartimentos, que torna o processo extremamente mais rápido.

Esse modal exige que os autotanques usuais sejam adaptados para permitir o carregamento por baixo. Uma das adaptações necessárias ocorre nos engates laterais do AT. Para permitir o acoplamento entre o braço de carregamento e o bocal, é necessário um mecanismo de travamento para garantir que não haverá derramamento de produto devido ao desacoplamento acidental do braço (figura 16).



Figura 16: Braço de Carregamento do Sistema Bottom Loading [13]



Figura 17: Motorista Acoplado o Braço no Carregamento Bottom [14]

Outra alteração necessária é a instalação de um sistema redutor de derrames dentro de cada compartimento do AT. Basicamente, sensores ópticos são instalados no topo de cada compartimento e, caso o nível de produto ultrapasse o máximo permitido, um sinal será enviado ao computador da baia e o carregamento será interrompido imediatamente. Essa comunicação ocorre por meio de um cabo acoplado em um socket existente na lateral do AT. Além de servir como um redutor de derrames, ou *overflow*, esse equipamento também funciona como um sistema de aterramento.

Também é necessária a instalação de um sistema de eliminação de vapores no autotanque, que consiste basicamente em uma mangueira acoplada na lateral do veículo por onde os vapores gerados pela evaporação durante o carregamento são eliminados. Esse equipamento é essencial pois, como as escotilhas do topo do AT são mantidas fechadas durante todo o processo, o acúmulo de vapores geraria uma pressão excessiva que inviabilizaria o carregamento.

3.4 CARREGAMENTO DE VAGÕES TANQUE

3.4.1 CONTEXTO

Até o momento da escrita deste trabalho, não havia plataformas de carregamento de caminhões tanque totalmente automatizadas no Brasil ou exterior no que concerne à completa eliminação do trabalho humano para manipulação dos braços de carregamento. Há, no entanto, plataformas de carregamento de vagões-tanque com alto

nível de automação em países da América do Norte, Europa e Ásia, usualmente em países desenvolvidos.

Em um primeiro momento pode parecer estranho que os sistemas de carregamento de VTs tenham chegado em um nível tão avançado de desenvolvimento tecnológico e automação e o equivalente para caminhões tanque tenha sido deixado de lado. De fato, as tecnologias e processos das plataformas de carregamento de ATs no mundo todo têm apresentado diversas evoluções que trazem maior segurança, controle e eficiência ao carregamento, mas o trabalho humano sempre se mostrou necessário.

O carregamento *bottom loading*, considerado o mais moderno e eficiente sistema atualmente existente para ATs, proporciona melhorias operacionais diversas mas ainda exige trabalho por parte do motorista do caminhão, o que, conforme já analisado, representa o principal ponto frágil desse processo.

O principal motivo que explica o desenvolvimento das plataformas de VTs nos países desenvolvidos é a presença de uma rede ferroviária extensa e amplamente utilizada em comparação com a rodoviária, o que torna o transporte de combustíveis por vagões uma atividade financeiramente atrativa. De fato, analisando o gráfico abaixo (figura 18) pode-se verificar que países com alto nível de desenvolvimento usualmente tem uma rede ferroviária mais participativa em relação aos demais modais de transporte.



Figura 18: Comparativo Internacional das Matrizes de Transporte [15]

Além disso, no caso do carregamento de autotanques, os motoristas são capazes de fazer o carregamento do AT sem gerar custos extras ao centro de distribuição. Em uma plataforma de VTs, seria inviável deixar o processo de carregamento sob responsabilidade do maquinista, e portanto se torna necessária a contratação de

operadores para realizar a tarefa. Isso gera gastos com salário e treinamentos, e torna a automação uma opção financeiramente interessante às companhias do setor.

Esses dois fatores explicam a evolução das plataformas de carregamento de VTs em relação ao equivalente para ATs. Abaixo, será feita uma demonstração das tecnologias de ponta utilizadas atualmente no carregamento de VTs no exterior visando fornecer uma linha de base técnica para a proposta de carregamento de autotanques que será desenvolvida no decorrer desse trabalho.

3.4.2 TECNOLOGIAS

Diferentes empresas desenvolveram diferentes tecnologias no que concerne à automação de plataformas de carregamento de vagões-tanque. Serão expostas neste trabalho algumas das soluções desenvolvidas pela Scherzer Umwelttechnik, empresa alemã que trabalha com projeto e construção de sistemas para bases que operam com combustíveis, pela Siemens, multinacional conhecida globalmente que também atua nessa área, e pela EMCO Wheaton, desenvolvedora de sistemas de transferência de fluidos e que também fornece serviços de integração a bases que operam com tais produtos.

É interessante notar que o nível de automação desses sistemas depende das necessidades operacionais do cliente, do nível de segurança desejado e do investimento financeiro despendido. Em alguns casos, opta-se por operação remota dos equipamentos, em outros, opta-se por uma automação completa do processo.

Locomotivas são usadas quando é necessário o transporte de vagões em grandes distâncias. Assim que o trem chega à base onde será feito o carregamento, os mesmos são posicionados na linha designada e desacoplados da locomotiva.

Dentro da base, o vagão é levado ao local do carregamento por um veículo de manobra ou um dispositivo de posicionamento de vagões (figura 19). Uma plataforma de carregamento pode ter diversas estações de carregamento, ou baias, e nesses casos os vagões são mantidos acoplados em número igual ao total de baias. Uma mesma baia pode ter diferentes sistemas de carregamento para diferentes produtos, e uma mesma plataforma pode ser planejada de modo a atender até duas linhas férreas, de ambos os lados da mesma.



Figura 19: Dispositivo de Posicionamento de Vagões [16]

Escadas dobráveis são posicionadas à frente e atrás das estações de carregamento e são usadas para abrir e fechar as escotilhas. Esse processo é realizado por operadores do local.

Finalizado o posicionamento do vagão, a posição do bocal do compartimento é detectada por uma câmera CCD e, utilizando técnicas de visão computacional, suas coordenadas são obtidas e armazenadas. Com essa informação o tubo de carregamento será automaticamente posicionado. Sensores são utilizados para garantir ajustes no posicionamento do braço. A figura 20 contém um esquema dos equipamentos de sensoriamento e outros dispositivos do sistema desenvolvido pela empresa EMCO Wheaton.

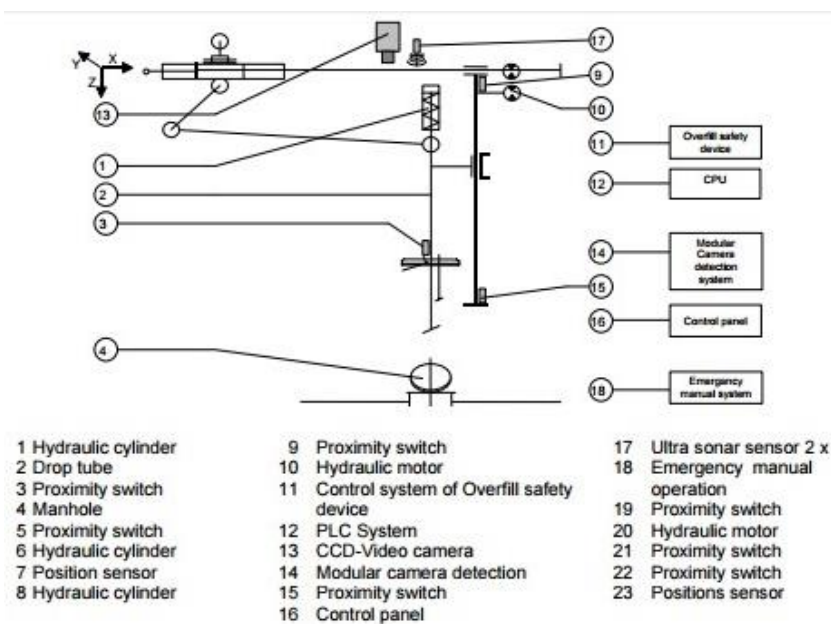


Figura 20: Esquema de um Sistema de Carregamento de Vagões Automatizado [17]

O braço de carregamento está localizado em um manipulador composto por uma estrutura metálica, ou carruagem (figura 21), apoiada em trilhos a uma altura de cerca de 5 metros do chão. Iniciado o posicionamento, a carruagem é movida ao longo do eixo longitudinal do VT por um motor hidráulico e a correção no eixo transversal é feita por pistões hidráulicos. Finalizado o posicionamento horizontal, inicia-se o processo de descida do braço de carregamento, que é realizado por cilindros hidráulicos internos ao tubo de carregamento. Atuadores hidráulicos são utilizados devido ao peso elevado do equipamento, que varia entre 1.600kg e 2.000 kg.



Figura 21: Manipulador do Braço do Sistema de Carregamento [18]

O braço ou tubulação de carregamento é um dos elementos mais desenvolvidos desse sistema. Abaixo será descrito o “Scherzer filling tube system”, ou tubo de carregamento Scherzer, devido à companhia responsável pelo desenvolvimento do mesmo (figura 22).



Figura 22: Braço de Carregamento [18]

Feito o posicionamento no plano horizontal, o braço inicia o movimento vertical. A estrutura externa do tubo desce até que seus apoios laterais toquem a circunferência do bocal (figura 23). Após isso, a estrutura interna, de diâmetro menor, continua a descida até o fundo do compartimento. A estrutura intermediária do tubo não se desloca.

As faces guia dos tubos são feitas de cromo banhado a bronze. A espessura da parede dos tubos varia entre 10 e 20mm dependendo da aplicação. Todas as partes que entram em contato com o vagão são de bronze, um material antifaísicante.



Figura 23: Braço de Carregamento Posicionado [16]

Em seguida, o prato de selamento, uma seção emborrachada localizada na extremidade da estrutura exterior do braço, quando posicionada dentro da circunferência da escotilha, é inflada por um sistema pneumático e, dessa forma, veda o bocal superior do compartimento, evitando que ocorram derrames de produto e impedindo a saída de

vapor de combustível (figura 24). Esse sistema não é utilizado em todas as bases que operam com carregamento automatizado devido à limitação imposta pela falta de padronização dos bocais dos VTs que ocorrem em certas localidades.



Figura 24: Sistema de Vedação do Bocal do Vagão [16]

O produto passa pelas tubulações interiores do braço de carregamento. O abastecimento contínuo do braço é feito por uma seção de tubulação com juntas rotativas que acompanha a extremidade superior do tubo, formando um sistema articulado demonstrado pela tubulação branca da figura 25.

A região entre a tubulação interior e a exterior é utilizada como rota de fuga dos vapores gerados durante o carregamento, que são direcionados até uma unidade coletora de vapores. Uma tubulação articulada, representada em amarelo na figura 25, é responsável por conduzir os vapores coletados no processo para uma unidade coletora de vapores.



Figura 25: Tubulação Articulada que Abastece o Braço [18]

O sistema também conta com um sensor posicionado pouco abaixo do prato de vedação que serve como um sistema redutor de derrames. Maiores detalhes quanto à estrutura interna do braço estão disponíveis no anexo A deste trabalho.

A liberação para o início do carregamento é dada por um operador localizado em uma estação de controle. O acompanhamento ocorre por meio de câmeras e leituras de sensores, mas também pode ser visual, uma vez que a cabine de controle pode ser instalada próxima à estação de carregamento.

Ao final do enchimento, as tubulações interna e externa do braço são recolhidas. Um tampão é automaticamente acoplado na extremidade inferior do braço, evitando gotejamentos. O braço é então deslocado até sua posição de descanso.

4 ANÁLISE DE SEGURANÇA

Os acidentes de trabalho representam perdas para a sociedade em geral. Devido ao impacto que os acidentes nas atividades de transporte, armazenagem e produção industrial de substâncias como os derivados de petróleo podem acarretar à sociedade, buscam-se constantemente formas de reduzir sua ocorrência e a amplitude de suas dimensões [19].

O processo de carregamento de combustíveis é uma atividade de alto risco pois na presença de uma atmosfera com vapores inflamáveis e envolve contato indireto com substâncias tóxicas, manipulação de equipamentos de grande porte e trabalho em altura, no caso do carregamento *top loading*. Por esses motivos é importante procurar alternativas e soluções que venham a diminuir as chances de ocorrência de incidentes nessas operações.

Em centros de distribuição de combustíveis utilizam-se métodos diversos com o objetivo de controlar as chances ocorrência de incidentes. Treinamentos são oferecidos a motoristas e operadores periodicamente, ministrados por pessoas com conhecimento e experiência na área. Observações *in loco*, que visam identificar situações perigosas e corrigir as mesmas por meio de diálogo e orientação, também são realizadas frequentemente pela equipe de supervisão dos terminais. Há uma série de equipamentos, sensores e alarmes cujo objetivo é garantir que a operação está ocorrendo da maneira planejada e, desse modo, aumentar a segurança. Esses cuidados têm como objetivo não

apenas evitar pausas operacionais ou gastos com manutenção, mas também para manter uma imagem de segurança para a companhia e reduzir as chances de ocorrência de processos judiciais no caso de algum incidente.

No entanto, esses procedimentos e equipamentos não são suficientes para evitar que incidentes ocorram.

A proposta de automação apresentada neste trabalho oferece vantagens em termos de segurança por diminuir a probabilidade de ocorrência de erros humanos na operação de carregamento. Uma análise mais específica dessas vantagens será apresentada a seguir. Inicialmente serão considerados os riscos presentes atualmente no carregamento *top loading* e em seguida será feita uma análise de dados.

4.1 TRABALHO COM INFLAMÁVEIS E COMBUSTÍVEIS

A Norma Regulamentadora NR20, de segurança e saúde no trabalho com inflamáveis e combustíveis, estabelece os requisitos mínimos para a gestão da segurança e saúde no trabalho contra os fatores de risco de acidentes provenientes das atividades de extração, produção, armazenamento, transferência, manuseio e manipulação de inflamáveis e líquidos combustíveis [20].

A norma estabelece requisitos que devem ser atendidos por instalações que se encaixam na descrição acima. O projeto de tais instalações deve conter, segundo a norma:

- Descrição das instalações e seus respectivos processos através do manual de operações;
- Planta geral de locação das instalações;
- Características e informações de segurança, saúde e meio ambiente relativas aos inflamáveis e líquidos combustíveis, constantes nas fichas com dados de segurança de produtos químicos, de matérias primas, materiais de consumo e produtos acabados;
- Fluxograma de processo;
- Especificação técnica dos equipamentos, máquinas e acessórios críticos em termos de segurança e saúde no trabalho estabelecidos pela análise de riscos;

- Plantas, desenhos e especificações técnicas dos sistemas de segurança da instalação;
- Identificação das áreas classificadas da instalação, para efeito de especificação dos equipamentos e instalações elétricas;
- Medidas intrínsecas de segurança identificadas na análise de riscos do projeto.

Diversas outras exigências são impostas pela norma, incluindo distâncias de segurança entre tanques de armazenamento de combustíveis, mecanismos de controle de vazamentos, incêndios ou explosões e dispositivos de alívio de pressão em sistemas pressurizados. No processo de enchimento de recipientes ou tanques, devem ser definidas medidas preventivas para eliminar ou minimizar a emissão de vapores e gases inflamáveis e controlar a geração, acúmulo e descarga de eletricidade estática. Também é exigido que os trabalhadores tenham certificados de capacitação para desempenhar a atividade no local. Outra imposição local é que sejam usadas roupas de fibras naturais, como algodão ou lã, e não de fibras sintéticas, como o poliéster, pois esses materiais, sob calor intenso, podem fundir em uma massa incandescente, grudando na pele e provocando sérias queimaduras.

O nível de segurança aplicado em cada local depende da classificação do mesmo com relação à presença de vapores inflamáveis.

A norma NBR-IEC-60079-10 define uma atmosfera explosiva de gás como uma mistura de ar com substâncias inflamáveis na forma de gás ou vapor, na qual, após a ignição, ocorre auto sustentação e propagação da chama. Uma área classificada devido a atmosferas explosivas de gás pode ser definida com uma região na qual vapores e gases inflamáveis estão ou podem estar presentes em quantidades que requeiram precauções especiais para a construção, instalação e utilização de equipamentos. Áreas não classificadas, em contraposição, são áreas onde atmosferas explosivas de gás não são esperadas.

A classificação de áreas devido à presença de atmosferas explosivas de gás é feita com base em uma divisão em zonas, conforme abaixo, segundo a norma americana [21]:

- Zona 0: local onde a formação de uma mistura explosiva é contínua ou existe por longos períodos.
- Zona 1: local onde a formação de uma mistura explosiva é provável de acontecer em condições normais de operação.
- Zona 2: local onde a formação de uma mistura explosiva é pouco provável de acontecer e, se acontecer, será por curtos períodos.
- Área não classificada: área na qual uma atmosfera explosiva não é esperada em quantidades que requeiram precauções especiais.

Uma plataforma de carregamento de combustíveis tem diferentes zonas. A região localizada imediatamente acima dos bocais de carregamento é considerada como zona 0, uma vez que produtos voláteis, como gasolina, evaporam em proporções suficientes durante o carregamento para formarem atmosferas explosivas. As ilhas de carregamento, onde o motorista acompanha o carregamento pelo computador de carregamento, são consideradas como zona 1, uma vez que vapores podem ser arrastados até ali devido ao vento. As extremidades da plataforma são consideradas como zona 2 por estarem suficientemente afastadas.

O sistema de aterramento da plataforma garante a dissipação de cargas eletrostáticas geradas pelo processo de carregamento e aplica ao AT o mesmo potencial da plataforma. Além disso, o mergulhador do braço de carregamento é feito de alumínio, de modo que não há risco de faíscas devido ao atrito com a lateral do compartimento, que geralmente é de aço. Também orienta-se aos motoristas que encostem o braço de carregamento no fundo do compartimento e travem o mesmo nessa posição, garantindo continuidade elétrica e eliminando as chances de que uma diferença de potencial leve ao surgimento de uma faísca.

A Norma Regulamentadora NR10, de segurança em instalações e serviços em eletricidade, estabelece que “materiais, peças, dispositivos, equipamentos e sistemas destinados à aplicação em instalações elétricas de ambientes com atmosferas potencialmente explosivas devem ser avaliados quanto à sua conformidade, no âmbito do Sistema Brasileiro de Certificação” [22]. Em outras palavras, a norma impõe que todos os equipamentos elétricos utilizados em áreas classificadas sejam certificados como sendo à prova de explosão ou intrinsecamente seguros. Podemos definir cada um desses equipamentos como:

- Equipamento intrinsecamente seguro: é aquele que, sob condições normais de operação, não é capaz de liberar energia elétrica (faísca) ou térmica suficiente para causar a ignição de uma dada atmosfera explosiva.
- Equipamento à prova de explosão: é um equipamento que, caso venha a entrar em ignição, deve garantir que os gases quentes resultantes da explosão devem permanecer confinados no invólucro, evitando que a explosão se propague para o meio externo. Todo o invólucro deve, portanto ser dimensionado para suportar a pressão da explosão. Por meio de alívios dispostos na estrutura do mesmo, os gases resultantes da explosão vão passar para o ambiente externo a uma temperatura suficientemente baixa para não gerar ignição da atmosfera explosiva no exterior. Para que isto ocorra, a superfície de junção corpo-tampa e o interstício entre eles devem funcionar como um trocador de calor, fazendo com que o gás ao sair para o exterior esteja resfriado.

A norma se aplica a quaisquer dispositivos utilizados em áreas classificadas, incluindo rádios comunicadores, computadores, caixas de painéis eletroeletrônicos e unidades de sensoriamento.

A atividade de carregamento de combustíveis também gera riscos à saúde dos envolvidos no processo, pois envolve contato indireto com substâncias tóxicas.

Riscos de respingos de produto nos olhos ou o contato com a pele do motorista durante a manipulação dos braços de carregamento estão sempre presentes na atividade. A inalação de vapores tóxicos eliminados pelo processo de evaporação pelos bocais do autotanque durante o carregamento também deve ser levada em consideração. É possível também que ocorra ingestão de porções de produto por via oral devido a algum incidente. Tais riscos podem causar perda de visão, dermatite, problemas respiratórios, intoxicações e outros problemas sérios aos envolvidos.

A Norma Reguladora NR06, de equipamentos de proteção individual, estabelece que óculos de proteção e luvas para proteção contra agentes químicos devem ser obrigatoriamente utilizados por todos os trabalhadores que desempenham atividades desse tipo [23]. Muitos centros de distribuição adotam a luva de PVC como sendo a adequada para a atividade, pois além de proteger contra o contato direto com o combustível, também oferece proteção mecânica contra cortes.

O procedimento adotado, que é ensinado por meio de treinamentos a todos os trabalhadores que desempenham tais atividades, estabelece que o trabalhador deve se posicionar de costas para o vento quando for retirar o braço de carregamento de um compartimento cheio, pois desse modo a inalação de vapores tóxicos é minimizada.

Além disso, a NR20 estabelece que fichas com as características e informações de segurança e saúde dos líquidos combustíveis presentes no local devem estar presentes em locais de fácil acesso, fornecendo informações simples e rápidas caso algum incidente envolvendo exposição ou ingestão de produtos tóxicos ocorra.

4.2 CHOQUES MECÂNICOS, CORTES E ESMAGAMENTOS

Outro risco envolvido na atividade são choques mecânicos entre o motorista e os braços de carregamento. Uma mesma baia pode conter diversos braços e, em determinadas situações, acaba sendo necessário “se desviar” dos que estão em repouso para movimentar o desejado. As tampas dos compartimentos do autotanque, quando abertas, também são obstáculos a serem evitados. Também é possível que ocorra esmagamento e corte durante o encolhimento da escada pantográfica (mãos), fechamento do bocal do AT (pés) e manipulação dos canecos de respingos e braços de produtos (membros superiores).

Além dos cuidados da equipe do centro de distribuição em manter a área de trabalho em boas condições de organização e limpeza e garantir que pontos de ferimento são sempre eliminados o quanto antes, a norma reguladora NR06 estabelece que nessas condições de trabalho, devem ser usados os EPIs adequados para a proteção do trabalhador. No caso, são eles:

- Capacete para proteção contra impactos de objetos sobre o crânio;
- Óculos para proteção dos olhos contra impactos de partículas volantes;
- Luvas para proteção das mãos contra agentes cortantes e perfurantes;
- Calçado para proteção contra impactos de quedas de objetos sobre os pés;

Desse modo, os impactos de choques mecânicos, cortes e esmagamentos dos motoristas envolvidos na operação são reduzidos, porém não são completamente evitados.

É importante notar que, apesar do procedimento local impor como condição obrigatória o uso dos EPIs para a atividade de carregamento, há situações em que o motorista se “esquece” de colocar o EPI, ou simplesmente não o faz para economizar tempo e/ou esforço e, nesses casos, o mesmo fica exposto aos riscos descritos. Os operadores são orientados a corrigir tais comportamentos e informar a equipe de supervisão em caso de não cumprimento do procedimento. Outro ponto importante é que todos os EPIs têm prazos de validade que usualmente são negligenciados pelos motoristas para evitar gastos com a aquisição de equipamentos novos.

4.3 TRABALHO EM ALTURA

Em operações de carregamento *top loading* motoristas precisam subir no topo dos ATs e manipular braços de carregamento até a posição desejada. Esse processo é considerado arriscado pois o topo de um caminhão tanque não é plano e contém obstáculos, como as escotilhas dos compartimentos e outros pontos de tropeço. Em algumas baias de carregamento existem diversos braços instalados e, dependendo da posição dos bocais dos compartimentos, é necessário que o motorista “manobre” o braço de modo a conseguir posicioná-lo no local adequado. Também pode ser necessário que ele tenha que se desviar de outros braços em repouso. Como a superfície do topo do AT tem um tamanho reduzido, o que dificulta a movimentação e manipulação dos braços, esse processo pode fazer com que o motorista se desequilibre e caia enquanto se movimenta.



Figura 26: Motorista Trabalhando Sobre o Autotanque [24]

Segundo a norma regulamentadora de segurança do trabalho NR35 todo trabalho realizado a uma altura superior a 2 metros do chão sem guarda-corpo deve ser tratado como arriscado e medidas mitigatórias devem ser tomadas pelos empregadores para garantir maior segurança dos trabalhadores envolvidos na tarefa [25]. No caso, a norma estabelece que o motorista deve estar usando cinto do tipo paraquedista, que deve ser preso a um dispositivo trava-quedas presente na plataforma (figura 27). Desse modo, como a corda do trava-quedas trava quando exposta a uma aceleração rápida, similar a um cinto de segurança de automóvel, se o motorista escorregar do topo do AT o mesmo não vai atingir o chão, pois ficará suspenso pelo equipamento.



Figura 27: Trava Quedas e Cinto Paraquedista [26]

Essa medida diminui o impacto da queda, mas não evita que ela ocorra. Além disso, sempre existe a possibilidade de o cinto estar frouxo ou de o trava quedas estar danificado e, nesses casos, o motorista pode cair e atingir o chão. A manutenção desses equipamentos é realizada periodicamente para garantir que eles estão funcionando corretamente, e os operadores são orientados a observar se todos os motoristas estão ajustando o cinto da maneira correta em seus corpos. Além disso, mesmo que o equipamento esteja em boas condições e o motorista seja mantido suspenso, o mesmo pode se machucar devido ao choque com a lateral do veículo, o que mostra a natureza mitigatória e não-preventiva da proteção.

Alguns locais adotam o uso da escada pantográfica com guarda corpo para realização da atividade de carregamento (figura 28), mas a mesma não é largamente utilizada pois limita a movimentação do motorista sobre o autotanque e dificulta a manipulação do braço de carregamento. Além disso, se o AT tiver mais de um compartimento para carregar, será necessário fazer o reposicionamento do mesmo a cada carregamento, o que geraria uma grande perda de tempo.

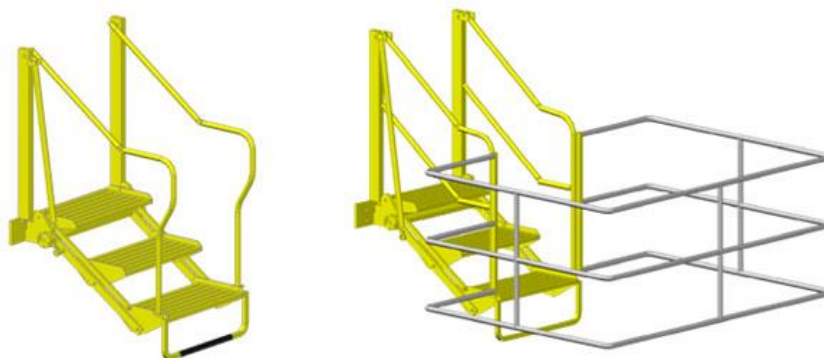


Figura 28: Escada Pantográfica Simples e com Guarda Corpo [24]

A NR35 também estabelece que treinamentos sejam fornecidos periodicamente a todos os motoristas que fazem esse tipo de atividade, explicando em detalhes a maneira correta de realizar esse trabalho visando reduzir ao máximo os riscos. No entanto, é importante considerar que, mesmo conhecendo o procedimento, nem sempre o trabalhador vai realizá-lo da maneira mais segura, pois o mesmo pode estar distraído, exausto ou com pressa.

Portanto, independentemente das medidas preventivas e mitigatórias adotadas, os riscos de quedas durante o carregamento de autotanque vão estar sempre presentes. A proposta de automação apresentada neste trabalho eliminaria os riscos de quedas e, por esse motivo, traria um grande ganho no quesito de segurança.

4.4 ERGONOMIA, ESFORÇO E FADIGA

Com relação à ergonomia, a NR17 impõe requisições com relação ao esforço do trabalhador durante a execução da tarefa e à maneira como a mesma é realizada [27].

O maior esforço da atividade de carregamento é a manipulação do braço de carregamento. Nos centros de distribuição em que existem pistões nos braços, uma melhoria implantada visando reduzir o esforço necessário para movimentar os mesmos, esse esforço é consideravelmente reduzido. Por esse motivo, não se considera que haja riscos de problemas posturais ou de lesões musculares. Essa melhoria, no entanto, não está presente em todos os locais. O posicionamento da escada pantográfica e a abertura das tampas dos compartimentos também exigem um certo esforço. No entanto, apesar de não exceder o limite de esforço aceitável, essas tarefas causam desgaste e cansaço nos motoristas que as executam diariamente.

É interessante notar que, além do carregamento propriamente dito, o motorista é responsável pelo transporte da carga, o que pode levar várias horas dependendo da localização do cliente, e tem responsabilidade de participar do processo de descarga do AT. Muitos chegam a realizar mais de uma viagem por dia, podendo chegar a três ou quatro consecutivas. Além do desgaste físico, os mesmos também estão expostos a estresse contínuo devido a possíveis atrasos ou outras situações.

Os motoristas têm também muitas reclamações a fazer sobre o processo de carregamento. Os mesmos reclamam frequentemente da demora nos centros de distribuição devido à espera nas filas para dar entrada no terminal, para carregar e para aditar o combustível. Tais atrasos podem prejudicar outras viagens que os mesmos tenham no mesmo dia. Muitos reclamam do desgaste físico devido às longas jornadas de trabalho, do sono atrasado, e da falta de motivação, considerando que os mesmos recebem pagamento pelo frete, mas não recebem nenhum adicional pela tarefa de carregar os caminhões.

Uma vez que a falta de atenção e o cansaço durante a operação são os principais motivos que levam à ocorrência falhas humanas, e por consequência podem levar a incidentes, é importante dar atenção a esses pontos.

4.5 RISCOS AO MEIO AMBIENTE

Um grande risco ao meio ambiente presente no processo de carregamento de combustíveis é a possibilidade de derrame. Dentre as razões que podem levar a um derrame pode-se citar:

- Compartimento e volume incompatíveis: nessa situação, o motorista pode confundir os volumes da carga e iniciar um carregamento em um compartimento de volume inferior ao programado;
- Compartimento não está totalmente vazio no início do carregamento: nessa situação, um autotanque pode retornar ao terminal com um volume remanescente de produto devido a uma descarga feita incorretamente;
- Volume registrado pelo medidor eletrônico não corresponde ao real: nessa situação, o medidor contabiliza um volume menor do que o real, devido ao mau funcionamento de algum componente;

- Válvulas de fundo incorretamente fechadas: nessa situação, um volume considerável de produto pode ser derramado pela tubulação de descarga do autotanque diretamente no chão caso a mesma não esteja fechada.

Nas três primeiras situações o redutor de derrames é o principal sistema capaz de reduzir a ocorrência dos incidentes. Para evitar a ocorrência de derrames devido à quarta situação, o procedimento de carregamento dita que o motorista deve checar se as válvulas de fundo estão corretamente fechadas.

Derrames em geral são incomuns, mas situações de quase derrame são frequentes. Nesses casos, o principal agente responsável por paralisar o carregamento a tempo é o redutor de derrames.

Plataformas de carregamento são geralmente áreas contidas para diminuir os impactos decorrentes do derramamento de combustível. Caso ocorra derrame de algum produto o mesmo vai escorrer pelas canaletas instaladas ao redor da plataforma e seguirá para uma unidade de contenção.

Conforme prevê o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Resolução 326/2005, para evitar o descarte de águas contaminadas é necessária a instalação de uma caixa separadora, que faz a separação de água e óleos [28]. Essa permite a separação de gasolina, diesel e óleos combustíveis, mas no caso de derrames de etanol, que é solúvel em água, não é possível fazer a separação.

4.6 ANÁLISE DE INCIDENTES

Serão expostos os resultados de uma análise realizada em 2006 em um centro de distribuição de combustíveis do Rio Grande do Sul com base no banco de dados de incidentes registrados em um período de três anos [29]. É importante notar que, apesar do *gap* temporal de quase uma década entre tal análise e a confecção deste trabalho, o processo ainda é muito similar no que se refere aos equipamentos utilizados e à maneira como a operação é conduzida.

Conforme adotado neste estudo, as definições utilizadas são:

- Incidente: toda a ocorrência não desejada que modifica o andamento normal de qualquer atividade, sendo classificados de acordo com a influência que têm no sistema como quase-acidente ou acidente;

- Quase-acidente: incidente que causa perda de tempo ou de material, sem provocar lesão corporal ou perturbação funcional, embora tivesse potencial para tal;
- Acidente: incidente que tem como consequência a lesão corporal, com perda ou redução de capacidade, permanente ou temporária.

Foram encontrados 66 incidentes no banco de dados da empresa e a análise mostrou que a maioria dos incidentes está relacionada a derrames dentro da base, conforme a Tabela 1.

Tipo de Incidente	Frequência	%
Derrame na Base	32	48%
Security	13	20%
Contaminação em Clientes	10	15%
Derrames em Clientes	8	12%
Contaminação na Base	2	3%
Acidente na Base	1	2%
Total	66	100%

Tabela 1: Incidentes e Frequência de Ocorrência [29]

Os tipos de incidentes indicados correspondem a:

- Derrame na base: derramamento superior a 1kg de produto no interior da base devido ao processo de enchimento ou descarga de caminhões tanque e vagões tanque, ou ainda devido a vazamentos nos dutos;
- Derrame em cliente: derramamento de produto superior a 1kg durante a descarga em clientes;
- Security: eventos que envolvem perda patrimonial (roubos, furtos, assaltos e afins);
- Contaminação na Base: mistura não proposital de dois ou mais produtos em um tanque de armazenamento da base ou em um caminhão tanque
- Contaminação em cliente: mistura não proposital de dois ou mais produtos em um tanque de armazenamento do cliente;
- Acidente na base: eventos que causam danos a ativos da empresa ou danos ambientais, sem que haja danos físicos a funcionários.

Há ainda outras três categorias que não apresentaram nenhum evento ocorrido no período analisado e, portanto, não são descritas no momento. São elas: acidente na base com afastamento, acidente na base sem afastamento e acidente rodoviário.

Outro ponto interessante da análise em questão é o levantamento das causas de ocorrência de cada tipo de incidente. Tais informações foram apresentadas no gráfico abaixo (figura 29) e mostram a evolução das causas de incidentes ao longo do período analisado.

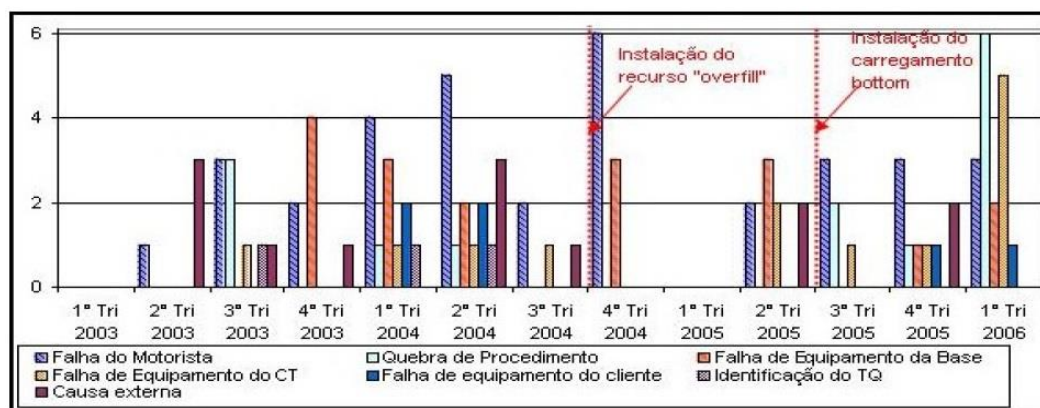


Figura 29: Evolução das Causas de Incidentes [29]

O primeiro trimestre de 2005 foi marcado por reformas e melhorias na instalação e, devido à paralisação das operações, não houve incidentes registrados.

O principal ponto de interesse da análise do gráfico é o fato de que os erros devido à “falha do motorista” e “quebra de procedimento”, ambos relacionados a erros humanos, correspondem a uma parcela significativa dos incidentes ocorridos no centro de distribuição ao longo de todos os períodos analisados.

4.7 ANÁLISE DO CARREGAMENTO BOTTOM-LOADING

O carregamento *bottom loading* fornece menos riscos ao motorista se comparado ao *top loading*. Não há trabalho em altura, a superfície de trabalho é plana, não há contato direto com o combustível, e não há inalação de vapores tóxicos. Há, no entanto, outros riscos e dificuldades envolvidos nessa operação.

Um primeiro risco é o de derrame devido ao desacoplamento do braço durante o carregamento. Isso pode ocorrer de duas maneiras. Em primeiro lugar, caso o mecanismo de trava falhe, e em segundo lugar, caso o motorista desacople o braço antes do final do carregamento.

A primeira situação é evitada por meio da manutenção preventiva do equipamento. A segunda situação, no entanto, depende exclusivamente da atenção do motorista e do respeito ao procedimento do centro de distribuição. De fato, caso haja diversos braços carregando simultaneamente e um dos compartimentos seja finalizado antes dos demais, o procedimento dita que, antes de desacoplar um dos braços, todos os carregamentos devem ter sido finalizados. No entanto, caso o trabalhador esteja com pressa, é de se supor que o mesmo tente agilizar o processo retirando o braço do compartimento cheio para acoplar no próximo. Nessa situação, caso ele retire o braço errado, poderá haver derrame de produto. É importante notar que o derrame seria de pequenas proporções pois, quando desacoplado, o engate do braço se fecha automaticamente, mas não antes de derramar algumas dezenas de litros de produto, que poderiam espirrar no motorista, gerando riscos à saúde do mesmo. Além disso, caso o fechamento automático falhe, o volume derramado pode ser muito superior.

Um outro risco existente é o de derrame devido a transbordamento. Isso poderia ocorrer caso uma carga de um volume superior ao volume de um compartimento seja iniciada. Mais uma vez, trata-se de um erro humano devido à falta de atenção.

Transbordamento também seria possível caso o autotanque entre no centro de distribuição com um volume de produto no interior de um dos seus compartimentos. Esse tipo de situação pode ocorrer devido à descarga realizada de maneira incorreta no cliente.

Em ambas as situações acima, o redutor de derrames seria acionado e impediria que ocorresse derrame de produto. No entanto, é preciso considerar a possibilidade de que esses equipamentos venham a falhar e, nesse caso, não haveria como evitar o transbordamento.

Do ponto de vista ergonômico, é possível apontar um ponto negativo considerável desse processo. O acoplamento do braço de carregamento no bocal exige um esforço físico considerável, pois o mecanismo de trava necessita que o braço e o bocal do AT sejam pressionados um contra o outro. No caso de motoristas de idade ou com condições físicas menos favoráveis, esse processo pode ser incômodo e gerar desconforto.

5 PROPOSTA DE AUTOMAÇÃO

Essa seção procura expor o conceito de uma plataforma de carregamento de autotanques automatizada no que se refere à substituição do trabalho humano por meio do uso de um manipulador robótico, incluindo descrição dos sistemas e componentes necessários para tal, além de desenvolver um procedimento operacional a ser seguido nesse cenário.

Tal proposta baseia-se fortemente na solução já adotada em plataformas de carregamento de vagões-tanque no exterior, conforme já exposto nesse trabalho. As devidas alterações que seriam necessárias para autotanques serão analisadas. Não se pretende, no entanto, entrar em detalhes em relação a todas as especificações desse projeto. Tal tarefa pode, no entanto, ser o foco de trabalhos futuros.

5.1 ESTRUTURA

Uma baia de carregamento totalmente automatizada exigiria uma estrutura diferente de uma baia tradicional. A solução mais simples seria adotar uma estrutura similar à já existente em baias automatizadas de carregamentos de vagões-tanque. É importante notar, no entanto, que as dimensões de uma baia de carregamento de ATs serão diferentes das de uma baia de VTs, devido às diferentes dimensões entre vagões e caminhões.

Para calcular as dimensões do envelope de posicionamento do AT é necessário considerar que caminhões tanque de grande porte têm no máximo 2,6 metros de largura por 3,6 metros de altura. É necessário que o envelope de posicionamento tenha condições de acomodar veículos de dimensões levemente maiores com certa folga. Por esse motivo, adotando-se um espaço de 20 cm de folga em ambos os lados do AT, e uma altura de segurança de 40 cm, valores razoáveis para tal operação, chegamos às dimensões do plano vertical do envelope de posicionamento: 3 metros por 4 metros. De fato, esses valores são próximos dos envelopes de posicionamento usualmente adotados em baias de carregamento *top loading* tradicionais.

O comprimento de caminhões tanque é altamente variável, dependendo do número e tamanho dos compartimentos e do número de carretas do veículo. Carretas

longas podem chegar a ter até 13 metros. Considerando-se que o braço de carregamento deve ser capaz de alcançar todos os compartimentos, é necessário que a estrutura forneça condições de garantir esse deslocamento.

Seria necessário que o AT já chegasse à plataforma de carregamento com as tampas dos compartimentos abertas. Um operador, alocado em uma ilha elevada antes da estação de carregamento, seria o responsável por fazer a abertura. Por ser uma atividade simples e rápida, um operador poderia fazer isso sem atrasar as viagens, uma vez que o gargalo do processo, em termos de tempo, seria na plataforma de carregamento. De modo similar, também seria necessário o trabalho de um operador para o fechamento das tampas dos compartimentos. Esse processo é similar ao que ocorre nas plataformas automatizadas de carregamento de vagões-tanque, em que operadores abrem e fecham manualmente as tampas do vagão antes e depois do carregamento do mesmo.

Esse é um fator limitante em termos de automação pois impõe a necessidade de manter o trabalho manual humano no processo de carregamento. No entanto, esse trabalho se restringiria a uma tarefa simples e de baixo risco, não envolvendo contato com produtos tóxicos ou manipulação de equipamentos de grande porte.

A posição dos equipamentos de medição e controle de carregamento, como as válvulas de controle de fluxo e as turbinas de vazão, seria alterada se comparada a uma baía de carregamento tradicional, em que esses equipamentos se localizam abaixo da ilha de carregamento. Nessa configuração, todos os equipamentos ficariam localizados em uma posição mais elevada, no nível do manipulador.

5.2 MANIPULADOR

O manipulador do braço de carregamento deve ser escolhido considerando-se as condições de contorno do sistema, que são:

- A extremidade do mergulhador do braço deve tocar o fundo do compartimento;
- O mergulhador deve estar sempre na posição vertical para evitar que ocorram choques ou atrito com a circunferência do bocal de carregamento.

Dentre os manipuladores capazes de atender a essas condições, o mais simples em termos de manufatura e programação é o cartesiano, de três juntas lineares. Por esse

motivo, optou-se por considerar o mesmo no sistema de automação proposto. De fato, esse é o manipulador utilizado em plataformas de carregamento de vagões-tanque automatizadas.

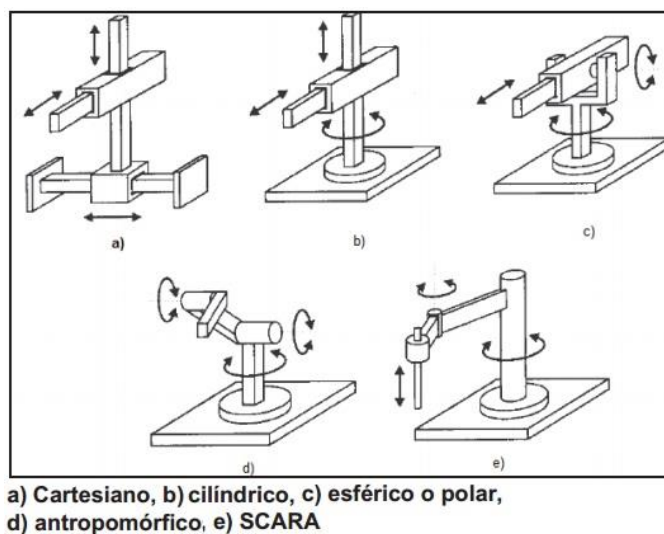


Figura 30: Tipos de Manipuladores Robóticos [30]

Uma guia instalada no topo da plataforma de carregamento serviria de apoio para o manipulador. O deslocamento ao longo do eixo longitudinal do autotanque seria realizado por um motor hidráulico, uma vez que esse equipamento fornece o torque necessário à aplicação. Atuadores elétricos também são aceitáveis, mas o custo é muito elevado quando se lida com grandes cargas (figura 31), e os mesmos devem estar instalados dentro de unidades seladoras à prova de explosão devido às exigências impostas pela atmosfera explosiva do local. Sistemas pneumáticos fornecem um torque baixo e estão muito sujeitos a vazamentos de ar e, por esse motivo, não são considerados. A tabela 2 fornece algumas características de diferentes tipos de atuadores.

Característica	Tipos de atuadores		
	<i>Eléctricos</i>	<i>Hidráulicos</i>	<i>Pneumáticos</i>
Controle	Fácil. Possibilidade de ser elaborado.	Hoje em dia mais fácil com as eletro servo-válvulas	Muito difícil. Devido a questões de compressibilidade do ar
Velocidades	Grande	Média/Grande	Muito grande
Torque a baixa velocidade (aceler.)	Pequenos/Médios	Grande	Pequenos
Precisão (repetibilidade)	Boa. Limitada pelo uso de transmissão	Boa	Má, exceto em operações a posições fixas.
Funcionamento em situação estática	Mau. Requer travões.	Excelente. Trata-se de funcionamento normal.	Bom. Não há risco de danificação do sistema.
Questões ambientais	Os arcos eléctricos podem ser indesejáveis.	Perigo de fugas de óleo.	Sistemas limpos. Poluição sonora de componentes, compressores e das fugas.
Custos	Relativamente baixos	Altos	Relativamente Baixos

Tabela 2: Tipos de Atuadores e Suas Características [31]

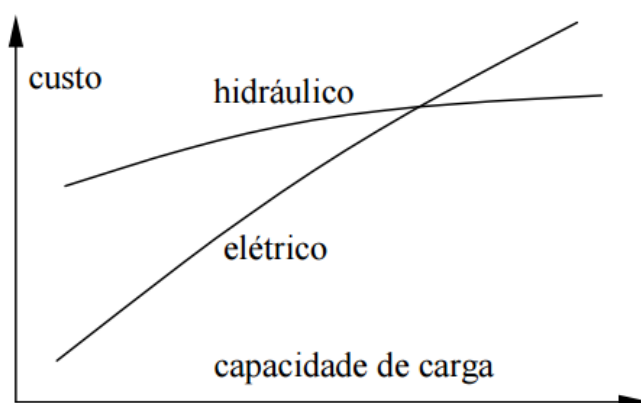


Figura 31: Custo de Atuadores em Função da Capacidade de Carga [31]

Na carruagem seria instalado um segundo sistema de guia com um pistão hidráulico para permitir o ajuste do braço ao longo do eixo transversal do AT.

Por fim, pistões hidráulicos localizados no interior do tubo de carregamento seriam os responsáveis pelo deslocamento vertical do braço até que o mesmo tocasse o fundo do compartimento. As decisões com relação aos atuadores foram feitas de modo a manter o sistema já utilizado no carregamento de VTs no exterior.

Diferente da situação com vagões, quando lidamos com autotanques é importante notar que a altura, em relação ao chão, da chapa de fundo dos compartimentos pode variar consideravelmente. Isso implicaria em um deslocamento vertical muito variável do tubo de carregamento. Seria necessário, portanto, um sensoriamento para detectar que o mergulhador tocou a chapa de fundo.

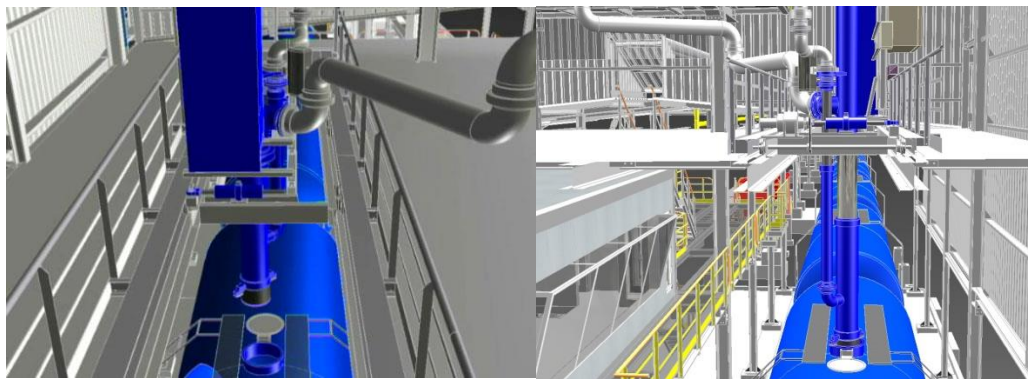


Figura 32: Manipulador e Braço de Carregamento Durante o Posicionamento [18]

É importante notar que nessa situação, diferente de muitas aplicações industriais, não é necessário garantir alta precisão no posicionamento do equipamento. De fato, erros de alguns centímetros seriam aceitáveis pois não prejudicariam o processo. Só é necessário garantir que o braço se encontra posicionado dentro da circunferência do bocal do compartimento antes do abaixamento, uma vez que o choque pode levar à quebra de equipamentos ou até à geração de centelha devido ao choque/atrito entre o mergulhador e o AT, o que é altamente perigoso nessa situação.

Para definir o envelope de posicionamento do braço de carregamento serão adotados os eixos (figura 33):

- Eixo X paralelo ao eixo longitudinal do AT, com sentido positivo de trás para a frente;
- Eixo Y paralelo ao eixo transversal do AT;
- Eixo Z na vertical, com sentido positivo de cima para baixo.

Desse modo, serão definidos os deslocamentos do manipulador e do braço de carregamento. A origem será no centro da circunferência da extremidade do braço de carregamento quando o mesmo se encontra na posição de descanso, com o mergulhador recolhido e o manipulador posicionado na extremidade do trilho longitudinal e no centro do trilho transversal.



Figura 33: Eixos Adotados Para Posicionamento do Manipulador [32]

Como já definido anteriormente, é necessário que o manipulador tenha condições de posicionar o braço sobre todos os compartimentos de uma carreta de grandes proporções por questões de praticidade, uma vez que desse modo não seria necessário reposicionar veículos com uma única carreta, o que geraria uma perda de tempo considerável. Carretas de grandes dimensões chegam a ter até 13 metros de comprimento. As escotilhas dos compartimentos, no entanto, ficam a pelo menos 1 metro da extremidade em carretas pequenas, e a distâncias ainda maiores em carretas de grandes dimensões. Será adotado, portanto, que o deslocamento no eixo X do manipulador será de 10 metros, o que atenderá à grande maioria dos autotanques de uma carreta.

É necessário que o manipulador tenha condições de fazer ajustes no posicionamento ao longo do eixo Y, uma vez que nem sempre caminhões tanque estarão perfeitamente alinhados na plataforma. Adotaremos um deslocamento de 0,25m para cada sentido de Y, o que garantiria um deslocamento de 0,5m no eixo transversal do AT. No entanto, caso um AT se posicione muito distante do centro da baia, o manipulador não teria condições de alcançar a posição desejada acima do bocal do caminhão tanque. Por esse motivo, seria importante orientar os motoristas quanto à necessidade de posicionar o veículo no centro da área disponível.

O deslocamento do braço na vertical pode ser definido considerando a altura, em relação ao solo, da parte mais baixa do braço de carregamento e do fundo do

compartimento do AT. Considerando que a extremidade inferior do braço de carregamento estaria a 4 metros do chão, altura de segurança já estabelecida previamente considerando o envelope de posicionamento do AT, e levando em conta que o fundo do compartimento de um AT está a, no mínimo, 0,5 metros do chão, é necessário que o deslocamento em Z seja de 3,5 metros para atender a grande maioria dos caminhões tanque.

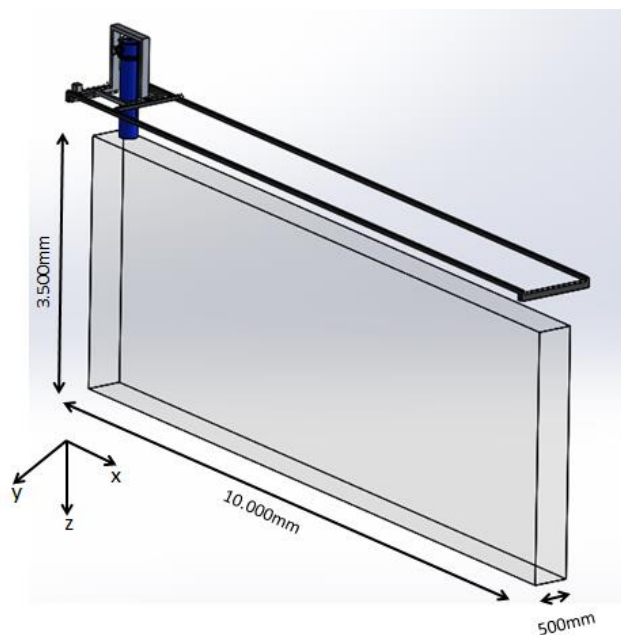


Figura 34: Envelope de Posicionamento do Braço de Carregamento

Para estipularmos a velocidade de deslocamento do manipulador é necessário levar em consideração alguns pontos:

- Velocidades muito altas não são aceitáveis devido aos riscos de choques mecânicos entre estruturas metálicas, o que poderia gerar faíscas sob altas velocidades;
- Durante o deslocamento horizontal do manipulador o braço de carregamento se encontra distante do autotanque e, por esse motivo, os riscos de choques mecânicos são reduzidos, o que permite a adoção de velocidades maiores;
- Durante o deslocamento vertical do braço de carregamento o mergulhador passa pela circunferência do bocal do AT e, por esse motivo, existem riscos maiores de choques ou de atrito entre as estruturas devido ao posicionamento incorreto do manipulador;

- O mergulhador deve ser rebaixado até tocar o fundo do compartimento e o movimento deve ser imediatamente cessado quando isso ocorrer, o que impõe que a velocidade de descida seja limitada.

Considerando-se essas restrições serão adotadas as velocidades de 0,5m/s para o deslocamento horizontal e de 0,20m/s para o vertical. É importante notar que esses valores foram escolhidos considerando velocidades aceitáveis para uma operação de alto risco e, portanto, não estão otimizados em termos de eficiência visando reduzir o tempo de posicionamento.

Segundo a necessidade operacional, existe a possibilidade de instalação de dois ou mais manipuladores para possibilitar o carregamento de diferentes produtos em uma mesma baia. O trilho localizado ao longo do eixo longitudinal do AT tem condições de acomodar mais de uma carruagem, e seria possível desse modo carregar vários compartimentos simultaneamente, o que reduziria consideravelmente o tempo de carregamento. Como já foi dito, atualmente não é permitido o carregamento simultâneo de vários compartimentos no procedimento *top loading* devido aos riscos envolvidos na manipulação e posicionamento de diversos braços. No entanto, carregamentos *bottom loading* não tem essa limitação e são extremamente mais rápidos.

Logicamente, a instalação de vários conjuntos de carregamento em série numa baia automatizada teria certas limitações. Uma dessas limitações reside no fato de que bocais muito próximos não poderiam ser carregados simultaneamente pois existiria uma distância mínima de segurança entre os manipuladores.

Existem duas configurações para a instalação de vários manipuladores em uma mesma baia:

- Manipuladores instalados em série no mesmo trilho longitudinal;
- Manipuladores que, na posição de descanso, estão em paralelo, mas com a presença de um desvio podem compartilhar o mesmo trilho para o posicionamento longitudinal;

Cada opção traz suas vantagens e desvantagens. A primeira opção se mostra mais simples, mas limita as possibilidades de carregamento, uma vez que os compartimentos terão que ser carregados conforme as limitações impostas pelo tipo de produto de cada braço. A segunda opção oferece uma solução melhor do ponto de vista operacional, mas tem limitações técnicas, exige uma área maior dedicada aos manipuladores e envolve um investimento mais alto para sua implementação.

5.3 BRAÇO DE CARREGAMENTO

Propõe-se o uso de um braço de carregamento similar ao tubo Scherzer utilizado em plataformas de carregamento de vagões-tanque automatizadas, conforme já descrito nesse trabalho.

É importante destacar que compartimentos de autotanques podem variar significativamente em dimensões, e, nesse caso em especial, é necessário levar em conta as variações em:

- Altura da chapa de fundo;
- Altura do topo do compartimento;
- Diâmetro do bocal de carregamento.

Os primeiros itens são importantes pois, no caso de VTs, a distância entre as alturas da chapa de fundo e do topo do compartimento são pouco variáveis quando considera-se os diferentes modelos de vagões que operam em uma determinada região. Já no caso de caminhões tanque, essas variações podem ser de cerca de um metro entre ATs de pequeno e de grande porte. Isso influenciaria no deslocamento vertical do tubo de Scherzer, que deverá ser adaptado. Pode-se instalar um sensor na seção vertical do braço que seja capaz de detectar o momento em que o mesmo tocar o fundo do AT.

O segundo ponto está relacionado ao sistema pneumático responsável pela vedação do bocal, que evita derrames e impede a eliminação de vapores. Ele é aplicável no caso de vagões pois o diâmetro dos bocais é similar, mas isso não se aplica a autotanques, que chegam a ter diâmetros variando entre 30cm e 50cm aproximadamente. Por esse motivo, opta-se por deixar de lado o sistema de vedação num primeiro momento.

O sensor anti-derrames substitui a necessidade de uso dos atuais redutores e, por estar fixo no braço, é posicionado automaticamente, não gerando perdas de tempo desnecessárias.

No geral, demais aspectos do tubo de Scherzer podem ser mantidos. É importante frisar mais uma vez que o mergulhador deve ser composto por material condutor para evitar faíscas devido ao acúmulo de eletricidade estática durante o carregamento e deve ser mantido em contato com o fundo do caminhão tanque, que usualmente é de aço carbono. Isso garante continuidade elétrica e, portanto, dissipação de eletricidade estática. É importante que a estrutura que entra em contato com o

compartimento do veículo seja de material anti-faíscente, como alumínio ou bronze. Deve-se também garantir continuidade elétrica ao longo de toda a estrutura do braço de carregamento. O sistema de aterramento deve ser mantido.

5.4 SISTEMA DE DETECÇÃO DO BOCAL DE CARREGAMENTO

Similar ao sistema de detecção utilizado nas plataformas de carregamento automatizadas de vagões-tanque da EMCO Wheaton, propõe-se o uso de uma câmera CCD e técnicas de visão computacional para a determinação da posição dos bocais dos compartimentos. Tal sistema se mostra eficaz e confiável quando usado para vagões e pode ser aplicado a autotanques sem a necessidade de mudanças significativas. Nesse caso, sensores são utilizados para ajustes no posicionamento.

É importante notar que as tampas dos compartimentos dos ATs estão sempre fechadas quando os mesmos chegam ao centro de distribuição. Um manipulador capaz de abrir e fechar as tampas das escotilhas seria consideravelmente complexo de se desenvolver considerando que existem tampas com tamanhos muito variáveis e diversos mecanismos de abertura e fechamento (figura 35). Também não seria viável exigir que todos os clientes padronizassem seus veículos com um único tipo de escotilha, pois isso implicaria em custos que os mesmos não estariam dispostos a aceitar.



Figura 35: Mecanismos de Abertura de Tampas de Autotanques [33]

Desse modo, em um primeiro momento, propõe-se que um operador seja o responsável pela abertura das tampas, um processo rápido e simples que pode ser realizado em segundos e que não implicaria em uma grande perda de tempo. A abertura seria realizada logo após a entrada do veículo no centro de distribuição, em uma plataforma ou ilha destinada a essa finalidade, com uma escada pantográfica e um sistema trava-quedas apropriados. É importante frisar que o tempo gasto nesse processo

não geraria atrasos significativos no carregamento. Como já foi dito anteriormente, no entanto, essa necessidade é um limitante à automação da operação.

De modo similar, o fechamento dos bocais também seria realizado de maneira manual. Seria importante, portanto, que houvesse um local destinado a esse propósito e que o mesmo ficasse próximo à plataforma de carregamento. O principal risco envolvido nesse processo é o fato de que a movimentação do autotanque carregado com as tampas abertas gera riscos de respingos ou derrames devido ao chacoalhar do produto. A velocidade de deslocamento do AT deveria ser restringida nessa movimentação para diminuir ao máximo esses riscos.

Segundo a resolução ANP Nº 44 de 2014 da Agência Nacional do Petróleo, centros de distribuição de combustíveis devem coletar uma amostra-testemunha de cada compartimento carregado no local, que deve ser lacrada e enviada juntamente com o produto ao comprador do combustível para fins de comprovação de que o mesmo foi entregue dentro das especificações pela distribuidora. Essa resolução visa reduzir a possibilidade de ocorrência de fraudes. Hoje existem plataformas destinadas à coleta dessa amostra-testemunha, onde o AT é posicionado e a coleta é feita por um operador presente no local. Seria viável, portanto, que o AT se movesse a baixas velocidades da plataforma de carregamento até a plataforma de coleta, onde seria feito o fechamento dos compartimentos.

Com relação ao uso das câmeras para detecção dos bocais, outras possibilidades surgem nesse quesito, como por exemplo, a fixação de *QR codes* próximos aos bocais de autotanques visando facilitar a identificação dos mesmos. Além disso, os códigos poderiam conter informações relacionados à compartimentação, como volume e numeração dos compartimentos.

5.5 INTERFACE E COMPUTADOR DE CARREGAMENTO

Seria necessária a instalação de uma interface para que o motorista possa entrar com seus dados e fazer a seleção do carregamento. O computador de controle tradicional é um equipamento ultrapassado e têm limitações que podem dificultar seu uso para a proposta apresentada neste trabalho. Existem equipamentos mais recentes, com mais funcionalidades e melhor desempenho disponíveis no mercado que podem atender às necessidades. Propõe-se o uso de uma interface *touchscreen* (figura 36).

O principal motivo de se optar por uma interface *touchscreen* é o fato de a mesma ser intuitiva no que concerne à seleção de comandos. É importante também que a mesma seja simples para garantir que operadores e motoristas tenham condições de aprender a usá-la sem dificuldades.

O equipamento será instalado na base da baía de carregamento, ao lado do envelope de posicionamento do AT. Inicialmente, serão solicitados o número da viagem correspondente à carga e o código de identificação do motorista em questão, similar ao processo utilizado hoje. A entrada de ambos os dados diminui as chances de acessos a cargas de outras viagens, o que pode gerar riscos e perdas financeiras.

Em seguida, uma representação do AT compartimentado seria apresentada na tela juntamente com os produtos e seus respectivos volumes a serem carregados, de acordo com a viagem. O motorista seria solicitado a confirmar os dados de compartimentação do AT e, em seguida, faria a seleção do produto e do compartimento no qual o mesmo será carregado (figura 36). Esse processo seria repetido para os próximos produtos/compartimentos. Finalizada a seleção, o mesmo pressionaria o botão de “início” e imediatamente se iniciaria o processo de deslocamento do manipulador e posicionamento do braço de carregamento.

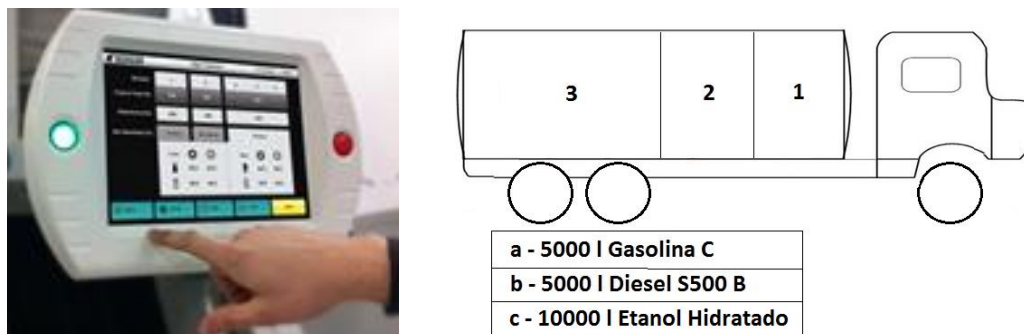


Figura 36: Interface Touchscreen e Exemplo de Seleção de Carga [34]

Esse processo de automação tem condições de impedir que um carregamento seja iniciado em um compartimento de volume inferior. Isso se daria por meio do cadastramento de todos os autotanques, onde seriam registradas as informações de compartimentação, sendo elas:

- Quantidade de compartimentos;
- Número de cada compartimento, em ordem crescente à partir da frente;
- Volumes de seta de cada compartimento;

A informação de volumes de seta de cada compartimento é importante por dois motivos: além de evitar que ocorra transbordamento de produto, também garante que será carregado um volume compatível com as setas de marcação interna do compartimento, que são usadas pelos clientes para verificar o volume de produto recebido.

Caso um motorista faça uma seleção de carregamento em um compartimento de volume incompatível, será apresentada uma mensagem de erro na tela e o mesmo deverá fazer uma nova seleção que esteja correta.

Durante todo o carregamento variáveis de interesse, como nome do produto, volume carregado, vazão, e outras informações ficarão disponíveis na tela, permitindo acompanhamento e identificação de situações incomuns.

É interessante notar que seria possível atribuir a função de programação do carregamento a controladores do centro de distribuição. Os mesmos, tendo acesso aos produtos de carregamento da viagem, teriam condições de programar o carregamento de maneira ágil. O motivo de se optar por deixar essa função sob responsabilidade dos motoristas em um primeiro momento é o fato de os mesmos conhecerem melhor seus veículos e, desse modo, terem condições de identificar erros relacionados à compartimentação.

5.6 PROCEDIMENTO OPERACIONAL DE CARREGAMENTO

Após posicionar o AT na baia de carregamento, o motorista do AT desligaria o veículo e, usando os EPIs indicados, sairia do AT, deixando quaisquer dispositivos eletrônicos que possua dentro do veículo. A alteração em relação ao procedimento atual estaria no fato de que não seria necessário usar luvas, uma vez que não haveria contato com substâncias tóxicas, nem cinto paraquedista, uma vez que não haverá trabalho em altura. O uso do capacete de segurança, óculos de proteção e calçado de segurança deve ser mantido devido aos riscos inerentes à operação.

Após fixar a garra de aterramento no AT o motorista se deslocaria para a interface *touchscreen* localizada próxima ao autotanque, onde o mesmo entraria com seus dados de carregamento e faria a seleção dos produtos que serão carregados em cada compartimento de acordo com a programação feita no momento da sua entrada no terminal. É interessante notar novamente que cada autotanque teria um registro no banco de dados do centro de combustíveis com informações sobre sua

compartimentação. Seria simples implementar um sistema capaz de evitar direcionamento de volumes incoerentes com o compartimento a ser carregado, evitando erros humanos e reduzindo as chances de ocorrências de derrames e outros incidentes.

O sistema *dead man* existente no carregamento *top loading* de muitos centros de distribuição seria deixado de lado em um primeiro momento. A instalação de uma botoeira próxima ao computador de carregamento serviria ao propósito de paralisar imediatamente o carregamento em caso de necessidade.

As tampas dos compartimentos já estariam abertas quando o AT chegasse à plataforma, conforme descrito anteriormente. Feita a seleção, o motorista daria o comando de confirmação, iniciando o processo de posicionamento e movimentação dos manipuladores e dos braços de carregamento.

Por questões de segurança, propõe-se a instalação de uma luminária na baia de carregamento, indicando que aquela baia está em processo de carregamento e, portanto, é necessário manter atenção e não adentrar na área de ação dos manipuladores.

Finalizado o carregamento, após o retorno do manipulador à sua posição de descanso, a luminária se apagaria, indicando que o motorista já pode retirar a garra de aterramento e se dirigir ao AT. Seria necessário se dirigir ao local destinado ao fechamento das tampas a baixas velocidades. Nesse local, seria também feito o processo de lacração das escotilhas e coleta de amostra, segundo o procedimento que dita que os ATs devem sair do centro de distribuição lacrados e com uma amostra testemunha de cada compartimento.

6 ANÁLISE FINANCEIRA

Centros de distribuição de combustíveis tem como operações principais o processo de recebimento, armazenamento e entrega de combustíveis. Os lucros advindos dessas operações estão no lucro por litro de combustível movimentado.

O volume de combustível movimentado por mês é variável e depende da região onde se localiza a distribuidora, da época do ano, da situação econômica do país, de fatores internos à companhia e outros quesitos.

Logicamente, regiões com um número maior de veículos tendem a movimentar volumes maiores. A época de entressafra da cana-de-açúcar, que vai de dezembro até março, período em que não há colheita e moagem, é marcada por uma redução considerável das vendas de diesel, pois as caldeiras das usinas, movidas a esse

combustível, são desligadas. Nesse período, a oferta de etanol pode se reduzir, caso o estoque não atenda às necessidades. Em tempos de crise econômica o consumidor tende a reduzir o consumo e, conseqüentemente, as vendas para postos reduzem.

Nessa seção procura-se fazer a análise da viabilidade financeira da implementação de uma plataforma de carregamento de autotanques automatizada em um centro de distribuição de combustíveis, considerando-se os impactos positivos na operação, a eficiência do processo, o investimento necessário e o retorno financeiro.

6.1 REDUÇÃO NO TEMPO DE CARREGAMENTO

Um impacto direto do processo de automação de uma plataforma de carregamento por meio da instalação de manipuladores robóticos para movimentação dos braços de combustível é, possivelmente, a redução no tempo de carregamento de um AT.

O processo atual de carregamento de autotanques dura aproximadamente 30 minutos para cargas medianas, mas esse tempo é altamente dependente de vários fatores, como o volume a ser carregado na viagem, o número de compartimentos do AT, a experiência do motorista e possíveis atrasos devido a eventos inesperados, como o mal funcionamento de algum equipamento.

Propõe-se a equação abaixo para estimar o tempo médio de carregamento de um autotanque na operação atual *top loading*:

$$t_{med} = t_{ater} + n \cdot t_{manip} + t_{comput} + \sum_i^n \left(\frac{(Vi - 600)}{hf} + t_{lf} \right) + t_{repos} + t_{imprev}$$

- t_{med} – tempo médio de carregamento medido em segundos;
- t_{ater} – tempo para aterrar e desaterrar o AT e subir e descer as escadas da ilha de carregamento;
- n – número de compartimentos carregados;
- t_{manip} – tempo despendido em cima do AT manipulando os braços;
- t_{comput} – tempo gasto no computador de carregamento;
- Vi – volume do compartimento i ;
- hf – alta vazão de carregamento, 1800 l/min = 30 l/s;
- t_{lf} – tempo de carregamento à vazão baixa, 75s;

- t_{repos} – tempo necessário para um autotanque de duas carrocerias fazer o reposicionamento (não aplicável em todos os carregamentos);
- t_{imprev} – tempo devido a situações imprevisíveis (altamente variável);

Sabemos que o carregamento ocorre a uma vazão de aproximadamente 1800 l/min e, portanto, para encontrar o tempo de carregamento de um compartimento em segundos, basta dividir o volume do compartimento pela vazão, que é igual a 30 l/seg. Para encontrar o tempo de carregamento à baixa vazão, basta dividir o volume carregado sob tal vazão (300 litros iniciais e 300 litros finais do carregamento, somando 600 litros) pela vazão baixa, 480 l/min ou 8 l/s, resultando em $t_{lf} = 75s$.

Não será considerado t_{ater} , tempo gasto para aterrar o AT e subir as escadas da ilha de carregamento, uma vez que esse tempo é despendido antes de se iniciar o carregamento propriamente dito e a fórmula tem por base estimar o tempo de carregamento apenas. Faremos, portanto, $t_{ater} = 0$.

O termo t_{manip} se refere ao tempo que o motorista passa em cima do AT, ou seja, inclui manipulação do braço de carregamento, abertura das tampas dos compartimentos, posicionamento do redutor de derrames e vestimento das luvas. Também inclui o tempo despendido para retirar o redutor de derrames, retirar o braço de carregamento e fechar a tampa do compartimento ao final do enchimento. Trata-se, portanto, do tempo de exposição do motorista a riscos, incluindo trabalho em altura, manipulação de equipamentos de grande porte e contato indireto com substâncias tóxicas. Estima-se $t_{manip}=120s$ conforme observações feitas em campo com auxílio de um cronômetro.

O termo t_{comp} se refere ao tempo despendido pelo motorista no processo de entrada de dados no pré-set e seleção dos carregamento. Será usado $t_{comp} = 60s$, conforme observações.

O tempo necessário para ATs de duas carrocerias fazerem seu reposicionamento, t_{repos} , não é aplicável sempre. Por esse motivo, será usado $t_{repos} = 0$, em uma situação em que o AT tem apenas uma carroceria.

O tempo perdido devido a situações inesperadas (por exemplo, quebra de equipamento ou mesmo o tempo perdido devido a distrações) é altamente variável. Será simulada uma situação em que o carregamento ocorreu sem incidentes, mas no qual houve uma pequena perda de tempo devido a distrações. Será adotado, portanto,

$t_{\text{imprev}} = 60\text{s}$ para a análise. O uso dessa aproximação se reflete no fato de que, na grande maioria dos carregamentos, ocorre perda de tempo por parte do motorista devido a conversas com colegas ou falta de habilidade na manipulação dos equipamentos.

Desse modo, considerando-se um AT de uma carroceria que carregará 4 compartimentos de 5.000 litros em uma baia de carregamento (o tipo de produto influenciará pouco no tempo total, a única diferença será a necessidade de trocar o braço) e utilizando a equação acima com as devidas substituições, é fácil encontrar que o tempo estimado de carregamento do AT seria de 24 minutos e 48 segundos.

Para verificar a efetividade da aproximação adotada, foram acompanhados 25 carregamentos com essas características em dias e horários diferentes. Os dados dos tempos de carregamento se encontram disponíveis na tabela 3. Da análise podemos observar que o tempo médio real encontrado foi 26 minutos com um desvio padrão de 3 minutos, o que é suficientemente próximo do estimado e dentro do desvio padrão das observações realizadas. Podemos concluir, portanto, que a equação proposta fornece uma boa aproximação.

Cabe agora fazer uma análise comparativa entre o cenário atual e o cenário proposto por este trabalho, de uma plataforma de carregamento totalmente automatizada, em termos de redução do tempo de carregamento. Serão usadas variáveis denotadas com uma apóstrofe para se referir aos tempos do cenário automatizado. Inicialmente, vamos analisar a equação proposta e analisar quais mudanças ocorreriam.

O termo t_{ater} será mantido igual a zero, uma vez que o interesse é no tempo de carregamento propriamente dito, e não no tempo despendido antes dele. No cenário automatizado, no entanto, não haveria alterações significativa nesse termo, uma vez que ainda seria necessário aterrar o AT.

O termo t_{comput} se refere ao tempo gasto pelo motorista para selecionar os produtos a serem carregados em cada compartimento no computador de controle. Uma vez que esse tempo é dependente da interface adotada, não há como estimar com precisão se haverá uma diferença em relação a t_{comput} . No entanto, uma vez que só será necessário fazer a seleção no início do carregamento, diferente da situação atual, em que é necessário selecionar o carregamento no início de cada compartimento, podemos estimar que haverá uma redução de alguns segundos no tempo total gasto. Vamos, no entanto, considerar que o tempo despendido nesse processo não se altera. Logo,

$$t'_{\text{comput}} = t_{\text{comput}}.$$

Tempo (min)	Desvio (min)
22	3,6
25	0,6
21	4,6
22	3,6
23	2,6
20	5,6
22	3,6
22	3,6
33	7,4
25	0,6
24	1,6
24	1,6
35	9,4
28	2,4
32	6,4
25	0,6
22	3,6
27	1,4
27	1,4
32	6,4
27	1,4
29	3,4
22	3,6
23	2,6
27	1,4
Média (min)	Desvio Padrão (min)
25,6	3,3

Tabela 3: Tempos dos Carregamentos Acompanhados

O termo t_{imprev}' , dependente de situações inesperadas, será altamente variável em ambos os cenários discutidos. No entanto, foi adotado $t_{imprev} = 60s$ para considerar o tempo perdido devido a fatores humanos. Caso o processo fosse totalmente automatizado, não haveria tal perda de tempo. Será considerado, portanto, $t_{imprev}' = 0s$.

O termo t_{repos} , correspondente ao tempo necessário para fazer o reposicionamento do veículo no caso de ATs longos ou com duas carrocerias, será mantido igual a zero, para o caso de um caminhão tanque de uma carroceria.

O termo t_{lf} , correspondente ao tempo de carregamento à vazão baixa, também não se altera, uma vez que não estamos propondo variações nas vazões de carregamento. De forma semelhante, hf não muda, nem Vi .

As alterações mais significativas ocorreriam no termo t_{manip} e no somatório.

O termo t_{manip} , relacionado ao tempo despendido pelo motorista em cima do AT, envolvendo manipulação do braço de carregamento e do redutor de derrames, será

substituído por t_{manip}' , referente ao tempo que o manipulador leva para se deslocar da posição diretamente acima do bocal de carregamento no plano XY e pelo deslocamento no eixo Z do braço de carregamento até que o a extremidade do mergulhador toque o fundo do compartimento.

Utilizando as velocidades de deslocamento adotadas para o manipulador, de 0,5 m/s para o movimento horizontal e de 0,20 m/s para o movimento vertical, e considerando um AT com um compartimento no centro da área de carregamento, levaria aproximadamente 27,5 segundos (5 metros ao longo do eixo X de a uma velocidade de 0,5 m/s e 3,5 metros ao longo do eixo Z a uma velocidade de 0,2 m/s) para a finalização do posicionamento do braço de carregamento, considerando que não haverá necessidade de ajuste no eixo Y. O tempo de recolhimento do braço e do retorno do manipulador à sua posição de descanso também seria de 27,5 segundos. Somando ambos chega-se a um tempo total de 55.

O manipulador robótico leva, portanto, 55 segundos para fazer o posicionamento/recolhimento do braço de carregamento. Na situação atual, conforme estimado, o motorista leva 120 segundos para fazer esse posicionamento. Isso significa uma redução de 65 segundos ou 54% no tempo de movimentação do braço. A automação gasta, portanto, 46% do tempo despendido por um ser humano para posicionar o braço de carregamento, considerando as aproximações e estimativas adotadas.

O termo n que multiplica t_{manip} também se mantém pois será necessário fazer o posicionamento do braço n vezes. Mesmo numa baía com mais de um braço de carregamento automatizado, só seria possível mover um braço por vez, por questões de segurança.

Finalmente, a alteração no somatório se refere ao fato de que, em uma plataforma automatizada com mais de um braço de carregamento, seria possível carregar diversos compartimentos simultaneamente, considerando as limitações impostas pela quantidade de braços e a compartimentação do autotanque. De fato, no processo adotado atualmente na maioria dos centros de distribuição nacionais e internacionais, a única razão de um único compartimento ser carregado por vez é por motivos de segurança no processo.

Com o desaparecimento do somatório da equação inicial, o limitante passaria a ser o compartimento de maior volume a ser carregado, pois ele ditaria o tempo total

despendido no processo de enchimento do autotanque. No entanto, essa aproximação só é válida para uma situação ideal na qual a baía teria braços de carregamento suficientes para carregar todos os compartimentos simultaneamente e na qual os manipuladores pudessem alcançar todos os bocais sem a necessidade de reposicionar o AT. Como exemplo, caso a baía tenha um único braço de gasolina e o autotanque tenha dois compartimentos desse produto a serem carregados, os dois carregamentos ocorrerão sequencialmente. Nessa situação, os carregamentos de gasolina seriam os determinantes do tempo despendido processo, e não o compartimento de maior volume.

Vamos, no entanto, considerar, para análise, uma baía automatizada com um único manipulador e que, portanto, só pode carregar um único compartimento por vez. Nessa situação, o somatório seria mantido e teríamos a equação abaixo:

$$t'_{med} = t_{ater} + n \cdot t'_{manip} + t_{comput} + \sum_i^n \left(\frac{(V_i - 600)}{hf} + t_{lf} \right) + t_{repos} + t'_{imprev}$$

Com $t'_{manip} = 55s$ e $t'_{imprev} = 0s$.

Considerando-se novamente um carregamento de um autotanque de 4 compartimento de 5.000 litros de um mesmo produto, pode-se utilizar a equação acima para estimar qual seria o tempo consumido para carregar o AT em uma baía automatizada.

Encontra-se que, desse modo, que o tempo de carregamento seria 19min24s. Isso representa uma redução de 5,3 minutos ou 21,5% em relação ao tempo médio de carregamento atual segundo os dados analisados.

Ressalta-se que o tempo durante o carregamento no qual um AT com a carga descrita está de fato injetando combustível dentro do compartimento representa aproximadamente 60% do tempo total despendido na operação. Esse tempo não pode ser reduzido, considerando-se que não é possível aumentar a vazão pois isso implicaria em maior geração de eletricidade estática.

De fato, se considerarmos o tempo no qual não há vazão no braço (ou seja, o tempo não-útil do processo, envolvendo movimentação do braço de carregamento e entrada de dados no computador) houve uma redução de aproximadamente 5min20s ou 53,3%, comparando a operação atual e a automatizada.

Alguns pontos precisam ser ressaltados, no entanto. Em primeiro lugar, a estimativa do tempo de carregamento atual e a equação proposta foram obtidas com

base em um número limitado de observações, e para uma estimativa mais precisa seria necessário acompanhar um número maior de carregamentos.

Em segundo lugar, os valores adotados para as velocidades de deslocamento do manipulador são consideravelmente baixas devido ao risco da operação. Seria possível otimizar essas velocidades visando uma redução ainda maior. Além disso, a estimativa do termo t_{manip} foi feita considerando-se um compartimento localizado no centro do envelope de posicionamento, e esse tempo foi utilizado como uma aproximação para o tempo de posicionamento do braço para compartimentos localizados em diferentes posições, o que não seria totalmente correto.

Em terceiro lugar, na situação automatizada não foi considerado o tempo de abertura e fechamento dos compartimentos, pois, conforme explicado, esse processo seria feito fora da área de carregamento.

Por fim, os cálculos e a estimativa de tempo de carregamento foram feitas considerando-se um AT de 4 compartimentos de 5.000 litros cada, um dos tipos mais utilizados. Logicamente, caso a quantidade de compartimentos fosse reduzida e o volume total de produto fosse mantido (devido ao aumento do volume dos compartimentos), o reposicionamento dos braços de carregamento ocorreria menos vezes durante o processo e, conseqüentemente, o ganho de tempo devido ao uso do manipulador robótico seria menos considerável em relação ao tempo total. Nesse caso, o tempo em que o braço estaria sob vazão seria muito mais significativo. A tabela abaixo mostra uma relação dos tempos de carregamento e a redução trazida pela automação para autotanques de diferentes compartimentações, utilizando a equação proposta e as aproximações adotadas para o tempo de deslocamento dos braços nas situações atual e automatizada.

Número de compartiment. do AT	Volume dos compartiment. (l)	Tempo estimado de carregamento na operação atual	Tempo estimado de carregamento na operação automatizada	Redução do tempo de carregamento (min)	Redução do tempo de carregamento (%)	Tempo não-útil (sem vazão) na operação atual (min)	Tempo não-útil (sem vazão) na operação automatizada (min)	Redução do tempo não útil (min)	Redução do tempo não-útil (%)
4	5000	24,8	19,4	5,3	21,5%	10,0	4,7	5,3	53,3%
2	10000	18,9	15,8	3,2	16,7%	6,0	2,8	3,2	52,8%
1	20000	16,0	13,9	2,1	13,0%	4,0	1,9	2,1	52,1%

Tabela 4: Redução dos Tempos de Carregamento

Como pode ser observado, a redução do tempo de carregamento é mais significativa quando o número de compartimentos é maior, mantendo-se o mesmo

volume total. Essa redução chega a 21,5% para 4 compartimentos de 5.000 l, cai para 16,7% para 2 compartimentos de 10.000 l e chega a 13% para 1 compartimento de 20.000 l.

No entanto, é preciso notar que o limitante do tempo de carregamento é o tempo sob vazão, no qual está havendo injeção de produto no compartimento. Esse tempo não pode ser reduzido pois, como já foi dito, as vazões são determinadas considerando-se a geração de eletricidade estática, que é maior sob altas vazões, e características técnicas dos equipamentos. Se considerarmos apenas as últimas colunas da tabela acima estaremos lidando com o tempo não-útil, ou seja, o tempo no qual não há vazão, apenas manipulação dos braços de carregamento e entrada de dados no computador. Nesse caso, a redução chega a 53,3% no caso de 4 compartimentos.

6.2 GASTOS COM MANUTENÇÃO E TREINAMENTOS

É evidente que a manutenção do equipamento de uma plataforma automatizada envolveria mão-de-obra especializada e, portanto, em um primeiro momento, poderia gerar um custo maior se comparado à manutenção de uma plataforma de carregamento convencional.

No entanto, a operação de uma plataforma de carregamento é frequentemente marcada pela ocorrência de incidentes que levam à danificação de equipamentos. Os itens abaixo indicam algumas dessas ocorrências:

- Redutor de derrames danificado devido ao fato de o motorista derrubar o mesmo no chão ou no interior de um compartimento vazio;
- Trava quedas danificado devido ao fato de o mesmo ser esticado com muita força pelo motorista;
- Sistema de aterramento danificado devido ao fato de o motorista se esquecer de retirar a garra;
- Escada pantográfica entortada ou arrancada devido ao fato de o motorista se esquecer de recolher a mesma;
- Braços de carregamento entortados ou arrancados devido ao fato de o motorista se esquecer de levantar o mesmo;

Os custos de manutenção desses equipamentos são consideráveis. Em alguns casos, acaba sendo necessário comprar um equipamento novo devido à completa inutilização do anterior.

O autor deste trabalho não teve acesso a um banco de dados de incidentes em centros de distribuição de combustíveis envolvendo danificação de equipamentos, o que impossibilitou uma análise de frequência e custo dos mesmos visando gerar uma estimativa do retorno financeiro trazido pela proposta de automação nesse quesito. Essa seção fornece, portanto, uma análise qualitativa.

Além da questão financeira, esses incidentes também geram riscos à segurança. No caso de uma escada pantográfica arrancada, por exemplo, estilhaços da mesma poderiam atingir pessoas nas proximidades.

Todos esses incidentes são gerados pela falta de atenção dos motoristas. Erros humanos estão e sempre estarão presentes nesse tipo de atividade. No entanto, caso a proposta de automação apresentada neste trabalho fosse implantada tais erros humanos seriam minimizados significativamente. De fato, o único risco que ainda estaria presente seria a possibilidade de o motorista danificar o sistema de aterramento caso se esquecesse de retirar a garra antes de movimentar o autotanque.

Outro ponto a ser considerado é a redução nos gastos com treinamentos de motoristas. Centros de distribuição são obrigados a fornecer treinamentos periódicos e procedimentos de reciclagem a motoristas que carregam na base. Isso exige a presença de um profissional qualificado para fornecer esse tipo de treinamento e consome esforço e tempo da equipe de supervisão no que concerne ao acompanhamento dos motoristas para verificar se os mesmos estão seguindo os procedimentos operacionais. Em uma situação de carregamento totalmente automatizado, ainda seria necessária instruir os motoristas quanto ao uso de EPIs e quanto ao procedimento de evacuação em caso de incêndio, por exemplo, mas treinamentos relacionados à NR-35 (trabalhos em altura) e à NR-20 (trabalho com substâncias tóxicas) não seria mais necessário.

6.3 INVESTIMENTO NECESSÁRIO

Para gerar uma estimativa do investimento necessário foi feito contato com um engenheiro da EMCO Wheaton, empresa que produz equipamentos para uso em unidades que operam com combustíveis e que fornece os serviços de instalação e integração desses equipamentos.

Considerando a instalação de um braço de carregamento com posicionamento automatizado estimou-se, em um primeiro momento, um investimento de US\$200.000,00. Nesse valor estariam inclusos os gastos com o braço propriamente dito e o manipulador do mesmo, mas não estão inclusos o sistema de detecção do bocal e outros equipamentos.

Utilizado o câmbio atual (US\$1=R\$3,45) isso resultaria em um investimento de aproximadamente R\$690.000,00 para a automatização de uma baia de carregamento com um braço. Acrescentando-se 10% extras para os custos envolvidos com o sistema de detecção do bocal, chega-se a R\$759.000,00.

É importante notar que esse valor não incluiria os gastos com equipamentos necessários à operação que já são utilizados e que seriam mantidos, como por exemplo medidores de vazão e válvulas de controle de fluxo. Também se supõe a pré-existência de uma infraestrutura básica, como as tubulações do produto.

A construção de uma baia de carregamento *top loading* hoje representa um investimento de aproximadamente 1,5 milhão incluindo todos os gastos com infraestrutura e equipamentos. A automação de uma baia já existente, portanto, custaria aproximadamente 50% do valor da mesma.

6.4 RETORNO FINANCEIRO

Como já foi dito anteriormente, o lucro advindo das operações em um centro de distribuição de combustíveis é dado pelo lucro líquido por litro de combustível movimentado.

O gráfico abaixo (figura 37), obtido de um relatório mensal de acompanhamento de mercado da Petrobrás de 2015, demonstra os preços médios da gasolina A em diferentes etapas da cadeia de produção, distribuição e comercialização do produto. O produtor representa as refinarias da gasolina, o distribuidor representa centros de distribuição e a revenda se refere aos preços de postos em geral.

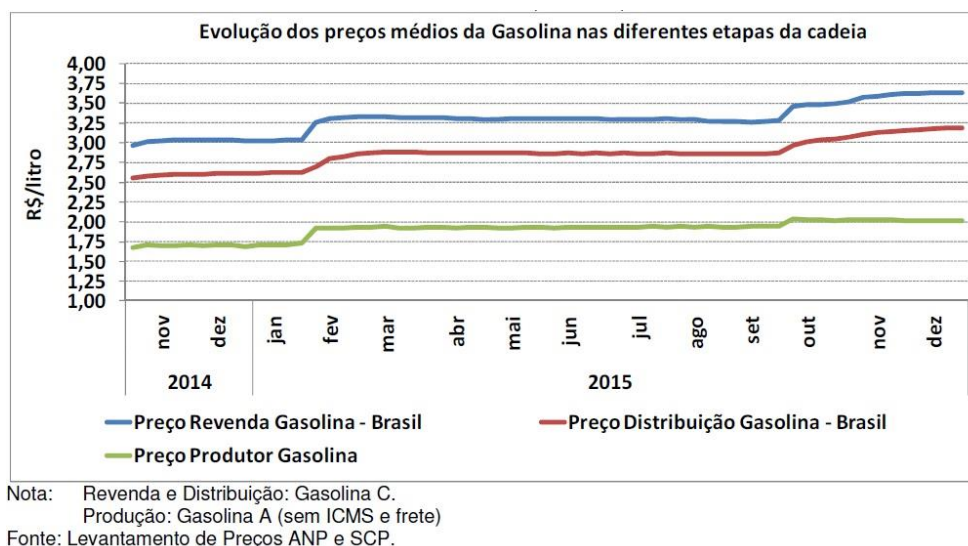


Figura 37: Preços Médios da Gasolina em Diferentes Etapas da Cadeia [35]

Conforme informações do relatório, em dezembro de 2015 os preços médios de venda dos produtores e dos centros de distribuição foram, respectivamente, R\$2,020/l e R\$3,174/l. Isso representa um lucro bruto de R\$1,154.

Os custos envolvidos para manter as operações de um centro de distribuição estão alocados em manutenções, pagamentos de funcionários, aquisição de novos equipamentos e itens em geral, obras de melhoria, gastos com consumo de energia e água, dentre outros.

Não há como se estimar com precisão os gastos de um terminal de combustíveis já que essa não é uma informação acessível. No entanto, estimando-se um lucro líquido de 5% sobre o bruto, um valor considerado razoável para diversos setores da economia, chega-se a um lucro líquido de R\$0,058/l.

Centros de distribuição de grande porte chegam a carregar mais de 200 caminhões em um dia, o que representa uma movimentação de mais de 4.000.000 de litros diariamente. Se considerarmos esse volume movimentado diariamente, um centro de distribuição de combustíveis que opere 6 dias por semana, cerca de 25 dias no mês, movimentaria 100 milhões de litros de combustível por mês. Aplicando-se o lucro líquido estimado de R\$0,058/l sobre esse volume, chega-se a um lucro mensal líquido de R\$5.800.000,00.

A redução do tempo de carregamento obtida pela estimativa feita sobre a proposta de automação foi de 21,5% em relação ao tempo gasto atualmente. Se considerarmos que a redução é de 20%, e supondo-se que isso implicaria em um

aumento de movimentação de combustíveis de igual porcentagem, o lucro mensal gerado seria de R\$1.160.000,00.

Considerando-se que um terminal de grande porte tem uma plataforma com 10 baias de carregamento e que cada uma dessas baias tem 3 braços de combustível, o que condiz com realidade, e considerando também o investimento estimado de R\$750.000,00 para a automação de um braço de carregamento, estima-se que o custo da automação de todos os braços de uma plataforma de 10 baias seria de R\$22.500.000,00. Considerando-se o lucro líquido mensal extra encontrado, o *payback* seria de aproximadamente 19 meses, cerca de 1 ano e meio.

Esse valor fornece uma primeira estimativa do retorno financeiro envolvido no projeto e parece, inicialmente, muito positivo. No entanto, é importante considerar que, diferente de linhas de produção, nas quais a operação ocorre 24 horas por dia e, portanto, uma redução de 10% no tempo de produção representa um aumento de produtividade de porcentagem similar, em centros de distribuição de combustíveis o carregamento não ocorre continuamente e, portanto, a abordagem adotada acima não é válida.

De fato, a movimentação de centros de distribuição depende fortemente da presença de ATs para carregamento e, portanto, da demanda por combustível na região. Caso um terminal deixe de atender à demanda local, é costume aumentar a capacidade de carregamento por meio da construção de uma nova baia na plataforma.

Nesse caso, como exposto, a construção de uma nova baixa custaria cerca de R\$1,5 milhão, considerando um sistema *top loading* e dois braços de carregamento. A automação de uma já existente com 2 braços de combustível custaria o mesmo valor. Construindo uma nova baia a capacidade de carregamento dobraria em relação a uma única baia. Automatizar a baixa já existente, por outro lado, traria um aumento de aproximadamente 20% na capacidade de carregamento. Por esse ponto de vista, não parece vantajoso investir num sistema automatizado.

Outro ponto a se notar é que plataformas de carregamento de combustível tem movimentação altamente variável ao longo do dia e da semana. Perto dos fins de semana, nos quais muitos centros de distribuição costumam não operar, a procura de combustível por postos cresce consideravelmente (tanto na sexta-feira, para garantir estoque, quanto na segunda-feira, para repor o que foi vendido no final de semana). Durante o dia, a movimentação é maior no início da manhã, entre 6h e 8h, em cidades de pequeno e médio porte. Já em cidades de grande porte existem restrições de horário

nas quais é permitida a livre movimentação de caminhões de grande porte, e isso gera uma sobrecarga nas horas que antecedem essa janela. Em São Paulo, por exemplo, muitas das principais vias só permitem a circulação de caminhões tanque entre as 10h e as 16h. Existe um projeto de entrega noturna, cujo piloto foi colocado em prática em 2014 em São Paulo, que prevê que todas as entregas de caminhões desse tipo sejam realizadas entre as 21h e as 05h.

É recorrente, portanto, que se formem filas de ATs em plataformas de carregamento em horários de pico, e que a mesma seja encontrada vazia em dias e horários de baixo movimento. Chega-se, portanto, em um grande desafio da operação atual, que se trata de garantir um carregamento ágil em horários de pico. Caso isso seja negligenciado, há alguns riscos principais.

Primeiramente, o atraso no carregamento desagrada o cliente e, caso seja recorrente, pode levar à perda do mesmo, caso o comprador venha a optar por comercializar com outro centro de distribuição.

Em segundo lugar, é preciso atender às restrições de janela de movimentação de caminhões tanque em cidades como São Paulo. Caso um AT demore muito para carregar a ponto de perder sua faixa de entrada no local, a carga ficará parada, podendo gerar um cancelamento da compra e, portanto, perda de dinheiro.

Além desses fatores, é importante considerar que a demora no carregamento gera stress no motorista e isso pode levar a incidentes, como derrames ou quebra de equipamentos, conforme já foi discutido. Todos esses incidentes representam uma perda financeira para o centro de distribuição.

É importante, portanto, não considerar apenas o *payback* provindo do aumento da capacidade de entrega trazido pela automação de uma plataforma de carregamento de combustíveis. Outros fatores seriam impactados positivamente pela automação, como a maior agilidade em horários de pico, o que garantiria que o produto será entregue ao cliente conforme o esperado, e a redução dos gastos com manutenção. O ganho do ponto de vista de segurança também é altamente significativo, como já foi exposto, considerando-se que elimina o contato do motorista com as principais situações de risco às quais o mesmo está exposto na operação atual.

Outro ponto muito importante, e talvez o mais significativo, é o fato de que a mão de obra do motorista é gratuita e não gera custos ao centro de distribuição, uma vez que eles recebem pelo frete do transporte da carga e não ganham nenhum extra pela tarefa de carregamento. A automação implicaria em gastos com técnicos e com mão de

obra especializada, além do investimento inicial. De fato, essa é provavelmente a razão pela qual essa atividade ainda é realizada por seres humanos, apesar dos riscos envolvidos no processo.

Levando em conta todos os pontos expostos acima, é de se esperar que o custo envolvido no projeto e implementação de uma plataforma de carregamento de combustíveis automatizada possa ser considerado um mau investimento do ponto de vista do investidor.

Por fim, é importante notar que o carregamento *bottom loading* atende à necessidade de redução do tempo de carregamento de maneira significativa e retira a necessidade de realização de trabalho em altura, além de diminuir a exposição aos vapores combustíveis. Por esses motivos, esse modal está em crescente expansão.

7 CONCLUSÃO

Durante a análise de segurança vimos que erros humanos são os principais responsáveis pelos incidentes em centros de distribuição de combustíveis. Esses incidentes causam riscos à segurança e saúde dos envolvidos, além de trazer prejuízos financeiros à companhia que administra o local. A eliminação do trabalho humano do processo de carregamento por meio da automação reduziria consideravelmente a ocorrência de tais incidentes e, desse modo, traria ganhos consideráveis nesse aspecto.

Do ponto de vista técnico, a construção e implementação de uma plataforma de carregamento de combustíveis automatizada para autotanques é perfeitamente viável. A solução já existente para o carregamento de vagões no exterior utiliza tecnologias eficientes, atendendo às necessidades da operação de maneira satisfatória. Seriam necessários ajustes e pequenas alterações nos equipamentos visando adaptá-los à realidade dos caminhões tanque.

A falta de padronização, no entanto, dificulta a automação. Como foi apontado, a princípio ainda seria necessário trabalho manual para a abertura e fechamento das tampas dos compartimentos, uma vez que existem diferentes mecanismos de abertura.

Também foi apontado que, de fato, a automação tornaria o carregamento mais rápido se comparada ao sistema *top loading* tradicional. A possibilidade de instalação de diferentes manipuladores numa mesma baia tornaria possível o carregamento

simultâneo de diversos compartimentos e, desse modo, tornaria o processo tão rápido quanto no caso do sistema *bottom loading*.

Por outro lado, o ganho financeiro não é claro devido ao fato de que um aumento na capacidade de carregamento não implica num aumento na circulação de combustíveis. Apenas pode-se comprovar que a automação, por meio da redução do tempo de carregamento, faria com que fosse possível atender a uma demanda maior, evitando atrasos e garantindo a satisfação do cliente, mas a movimentação financeira em si é dependente de outros fatores.

Um aspecto financeiro contra a automação que poderia ser levantado é o fato de que a mão-de-obra dos motoristas durante a atividade de carregamento não traz nenhum custo adicional ao centro de distribuição. Por esse motivo, *a priori*, pode ser de interesse da companhia que a atividade seja mantida da maneira como ela é realizada hoje.

Podemos fazer uma analogia com diversos outros setores da indústria que demonstraram relutância em relação à automação num primeiro momento. Hoje, no entanto, a automação de processos é altamente utilizada nos mais diversos ramos industriais e a tendência é que esse processo continue crescendo. Por esse ponto de vista, é de se esperar que a atividade de carregamento de combustíveis venha a se automatizar cada vez mais e, quem sabe em breve, teremos uma operação independente de trabalho humano nesse locais, conforme proposto neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] CARBOPETRO, Plataforma de Carregamento. Disponível em:
<<http://www.carbopetro.com.br/base/plataforma/plataforma.htm>>. Acesso em: 3 abril 2016.
- [2] INTRATOOL, Tank-truck loading system. Disponível em:
<<http://intratool.com/en/construction/obekty-proizvodstvennoy-infrastruktury-pod-klyuch/>>. Acesso em 3 abril 2016.
- [3] CHINA OGPE, Top loading Gantry, Disponível em: <http://www.china-ogpe.com/showroom/216/html/product_Top_loading_gantry_13_3640.html>. Acesso em 3 abril 2016.
- [4] ALTUS, Automation of Fuel Loading Bases. Disponível em:
<http://www.altus.com.br/site_en/index.php?option=com_content&view=article&id=304&Itemid=182>. Acesso em 8 abril 2016.
- [5] EMCOIKE, Escada Pantográfica. Disponível em:
<<http://www.emcoike.com.br/produtos/escada-pantografica>>. Acesso 12 abril 2016.
- [6] APPLIED CONTROL, Preset Controllers. Disponível em:
<<https://www.appliedcontrolequipment.com/reliable-process-automation-solutions/field-automation/preset-controllers/>>. Acesso 12 abril 2016.
- [7] EW FUEL MANAGEMENT LTD, Top Loading Arm. Disponível em:
<<http://www.ewfm.co.uk/product/Top>Loading - Long Reach - Unsupported Boom 2633.html>>. Acesso em: 03 out. 2016.
- [8] SILVA, R. R. Modelagem de um Sistema de Carregamento de Combustíveis Utilizando Diagrama Funcional Sequencial. 2007. 80p. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- [9] STEINER ELETRIC, Foot Switch. Disponível em:
<<https://www.steinerelectric.com/p/foot-switch-600vac-5amp-options/34606?process=search&qdx=0&ID=/Foot-Switch/Switches-Accessories/Electrical-Supplies/dept-6KL>>. Acesso 25 abril 2016.

- [10] WIKIPEDIA, Tipos de Medidores. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Transfer%C3%A2ncia_de_cust%C3%B3ria#M.C3.A9tos_de_medi.C3.A7.C3.A3o>. Acesso: 14 maio 2016.
- [11] MPSC, Medidores Comuns de Vazão. Disponível em: http://www.mspc.eng.br/fldetc/fluid_0330.shtml>. Acesso: 14 maio 2016.
- [12] ARM-TEX, Bottom Loading Arms. Disponível em: <http://www.arm-tex.com/bottom-loading-arms.html>>. Acesso: 28 maio 2016.
- [13] EWFM, Bottom Loading. Disponível em: http://www.ewfm.co.uk/product/Bottom>Loading_Arm_-_Liquid_and_Vapour_Recovery_750.html>. Acesso: 15 junho 2016.
- [14] SIA & ESIG, Safe Loading. Disponível em: <http://videock.com/video/safe-loadingunloading-of-bulk-tankers-de81ec762ba4c4dd20296e.html>>. Acesso: 18 junho 2016.
- [15] LOGÍSTICA DESCOMPLICADA, Situação do transporte ferroviário no Brasil. Disponível em: <http://www.logisticadescomplicada.com/situacao-do-transporte-ferroviario-no-brasil/>>. Acesso: 23 julho 2016.
- [16] SIEMENS, On Spot Loading. Disponível em: <http://w3.siemens.com/markets/global/en/oil-gas/pages/video-tuepras-kirikkale-on-spot-loading.aspx>>. Acesso: 23 julho 2016.
- [17] EMCO WHEATON, On Spot Loading System. Disponível em: <http://www.emcowheaton.com/specialty-loading-arms/spot-loading-system/>>. Acesso: 07 agosto 2016.
- [18] SCHERZER, On Spot Loading. Disponível em: <http://www.scherzer.net/umschlag/kesselwagen-be-und-entladesysteme/on-spot-beladung/scherzer-fuellrohrtechnik/das-fuellrohrsystem/>>. Acesso: 21 agosto 2016.
- [19] BALLARDIN, L. et al. A Percepção de Risco no Carregamento de Derivados de Petróleo. 2006. 7p. Abergó, Curitiba, Paraná.

- [20] GUIA TRABALHISTA, NR 20. Disponível em:
<<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr20.htm>>. Acesso: 11 setembro 2016.
- [21] WIKIPEDIA, Explosive Gas Area Classifications. Disponível em:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_equipment_in_hazardous_areas>. Acesso: 17 setembro 2016.
- [22] GUIA TRABALHISTA, NR 10. Disponível em:
<<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr10.htm>>. Acesso: 11 setembro 2016.
- [23] GUIA TRABALHISTA, NR 06. Disponível em:
<<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr6.htm>>. Acesso: 13 setembro 2016.
- [24] REDLANDS, Escada Pantográfica. Disponível em:
<http://www.redlands.com.br/index.php?action=escadas_pantograficas_fotos>. Acesso: 25 agosto 2016.
- [25] GUIA TRABALHISTA, NR 35. Disponível em:
<<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr35.htm>>. Acesso: 15 setembro 2016.
- [26] ALPIMONTE, Cinto Paraquedista. Disponível em:
<<http://www.alpimonte.net/trabalho/cinturoes-e-cadeirinhas/cinto-paraquedista-5-pontos-ab-110.phtml>>. Acesso: 16 junho 2016.
- [27] GUIA TRABALHISTA, NR 17. Disponível em:
<<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr17.htm>>. Acesso: 15 setembro 2016.
- [28] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, Resolução 362/2005. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res36205.xml>>. Acesso: 23 setembro 2016.
- [29] BALLARDIN, L. et al. Análise de Incidentes em uma Empresa Distribuidora de Combustíveis. 2006. 9p. XXVI ENEGEP, Fortaleza, Ceará.
- [30] VILLALOBOS, M. M., Robótica Industrial. 2015. Disponível em:
<<http://slideplayer.es/slide/5002471/>>. Acesso 18 setembro 2016.

[31] RAPOSA, A., Introdução à Robótica: Robôs Manipuladores. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/3463602/>>. Acesso 25 outubro 2016.

[32] GRABCAD, Truck Tank. Disponível em: <<https://grabcad.com/library/truck-containers-tank-20ft>>. Acesso: 20 setembro 2016.

[33] BOGOTEC, Manhole Cover. Disponível em: <http://bogotec.en.ec21.com/CIVACON_Model_SV_Manhole_Cover--241306_241696.html>. Acesso: 30 outubro 2016.

[34] KEEP IT USABLE, Touch screen human machine interface design. Disponível em: <<http://www.keepitusable.com/human-machine-interface>>. Acesso: 11 novembro 2016.

[35] ANP, Relatório Mensal de Acompanhamento de Mercado de Dezembro de 2015. 2015. 12p. Coordenadoria de Defesa de Concorrência.

ANEXO A

Sistema de carregamento automatizado de vagões desenvolvido pela Scherzer Umwelttechnik.

Fonte:

<http://www.scherzer.net/en/be-und-entladung/kesselwagen-mineraloele/on-spot-beladung/scherzer-fuellrohrtechnik/das-fuellrohrsystem/>

The filling tube system

Loading of inflammable products into railcars is operated by the filling tube system according the ON Spot principle. All products can be feeded by different product lines and its corresponding collectors to the filling tube system. Each track can be equipped with a filling tube system. Further filling tube systems can be retrofitted on each track.

The filling tube system will be emptied completely after each filling procedure.

The filling tube system consists of:

1. Filling tube sledge
2. Filling tube
3. Articulated / Telescopic Lines
4. Hydraulic system
5. Pneumatic system
6. Earth monitoring (if needed)

1) Filling tube sledge

On each track the filling tubes are mounted next to each other in axis to the track on a filling tube sledge. This sledge is fitted on rollers and allows a lateral movement (+/- 100 mm) and a longitudinal movement (up to app. 10m) of the filling tubes due to the

hydraulic system. The lateral movement is driven by one or two hydraulic cylinders, which are operated parallel. The longitudinal movement is driven by a Hydromotor. The movement command for lateral and longitudinal movement can be given by a joystick from the control panel inside the operating container. The operator can see the filling point through the windows of the operating container and he can position the filling tube, which was chosen for filling, exactly above the dome by moving the filling tube lateral and longitudinal. The final position of the lateral and longitudinal movement and central position are sampled by sensors.

2) Filling tube

The Scherzer filling tube is made on very sturdy machine equipment. The weight of a filling tube amounts to approx. 1.600-2.000 kg. The guide faces of the tubes are hard chromium plated and fenced in red bronze. The wall thicknesses of the tube range from 10 – 20 mm, depending on the filling tube components for a long operational life span. With a regular maintenance, a lifetime of up to 35 years are possible.

Filling tubes are equipped with an internal hydraulic cylinders to allow the filling tubes to extend up to 4250 mm for rail cars of western European manufacture and 4700 mm for rail cars of Russian manufacturer or in accordance with other types of country-specific rail cars. The end positions "filling tube up" and "filling tube inserted in rail car" are monitored with the aid of proximity switches.

The filling tube is also equipped with a mechanical stop for its upper end limit.

The product is supplied through filling tubes having an inner diameter of 200 to 300 mm (standard filler tube 230 mm) and the product connecting nozzle of the articulated or telescopic lines. The gas return also takes place in the filling tube and the vertical telescopic pipe via the product connecting nozzle of the articulated or telescopic gas line. The inflatable sealing bellows mounted on the filler tube or the sealing plate (for Russian rail cars) provide for a hermetic seal with the rail cars during the loading process. The filling tubes are equipped with an overfill safety based on the bubble gauge principle or with a special mechanical overfill safety sensor and a pressure monitoring. All parts that come in contact with rail cars are made of bronze. The rail cars are grounded upon contact with the filling tube by means of ground contacts at the filling tube and monitored with the aid of a grounding system tester (automatic grounding). If

the automatic ground tester should indicate a failure in the grounding of the rail car, the grounding is then provided by a second grounding tester. The ground monitoring system for rail cars is based on country-specific requirements. In Germany, for instance, a separate ground monitoring system is not necessary for rail cars.

Other monitoring systems are implemented in the associated pneumatic cabinet and hydraulic cabinet.

3) Articulated / Telescopic Lines

The decision on which system is to be used for connecting the filling tube equipment with the plant equipment depends on the necessary working range of the filling tubes. This working range in turn depends on the dimensions of different rail cars that are to be loaded.

The gas return of the filling tube is connected to the gas return line via an articulated gas line or a telescopic gas line. The gas return is normally equipped with pneumatically controlled valves, which can be used to shut off the gas line. The continuous pressure monitoring of the gas phase in the rail car and the gas line protects the vapor system from any unacceptable overpressure or negative pressure.

The filling tubes are connected to the different product manifolds via the articulated or telescopic lines. The articulated or telescopic lines used for product lines and gas line allow the filling tube to move in a horizontal plane (to the left and right, forwards and backwards).





4) Hydraulic System



One hydraulic system is usually installed for every filling tube system. The hydraulic system (designed according to ATEX directives and/or country-specific requirements on explosion protection) is responsible for controlling the filling tube mechanism. The hydraulic pressure necessary for the required hydraulic movement is provided by a hydraulic pump motor combination.

The hydraulic motor is only actuated if the hydraulic pressure is required by the corresponding functions. The following functions are planned:

- Selection of filling tube

- Filling tube up and/or down
- Filling tube cradles to the left and/or right
- Filling tube cradles forward and/or backwards
- Filling tube via hydraulic accumulator upwards
- Bypass valve



5) Pneumatic System on Filling tube Cradles



A pneumatic system is installed for each filling tube system of a track. The pneumatic system is responsible for controlling and monitoring the sealing bellows (for non-Russian rail cars), the overflow safety (alternative probe system) and the overpressure monitor system of the rail cars during the loading process. All air lines are routed to the air connections of the outer tube via the vertical drag chain of the filling tube.

The pneumatic cabinet is usually equipped with an insulation and an electrical heating and is mounted on the filling tube car. The necessary connecting cables (electric and pneumatic) are routed over a drag chain.

General, Actuation of Filling tube

The instrument air is cleaned by means of the filter and the condensate is discharged by the automatic drain system. In line with the selected filling tube, the assigned 3/2-way solenoid valve is actuated for activating the overfill safety, overpressure monitor and sealing cushions on the selected filling tube.

A filter controller is installed upstream of the 3/2-way solenoid valve for the filling of the sealing cushion. A high-precision pressure regulator is installed upstream of the 2/2-way valve of the overfill safety.

Overfill Protection

By actuating a filling tube the pressure lines of the overfill safety and the pressure compensation line are switched to the corresponding filling tube. The air lines of the overfill safety and the pressure gauge are connected with the overfill safety line and the pressure gauge line of the actuated filling tube.

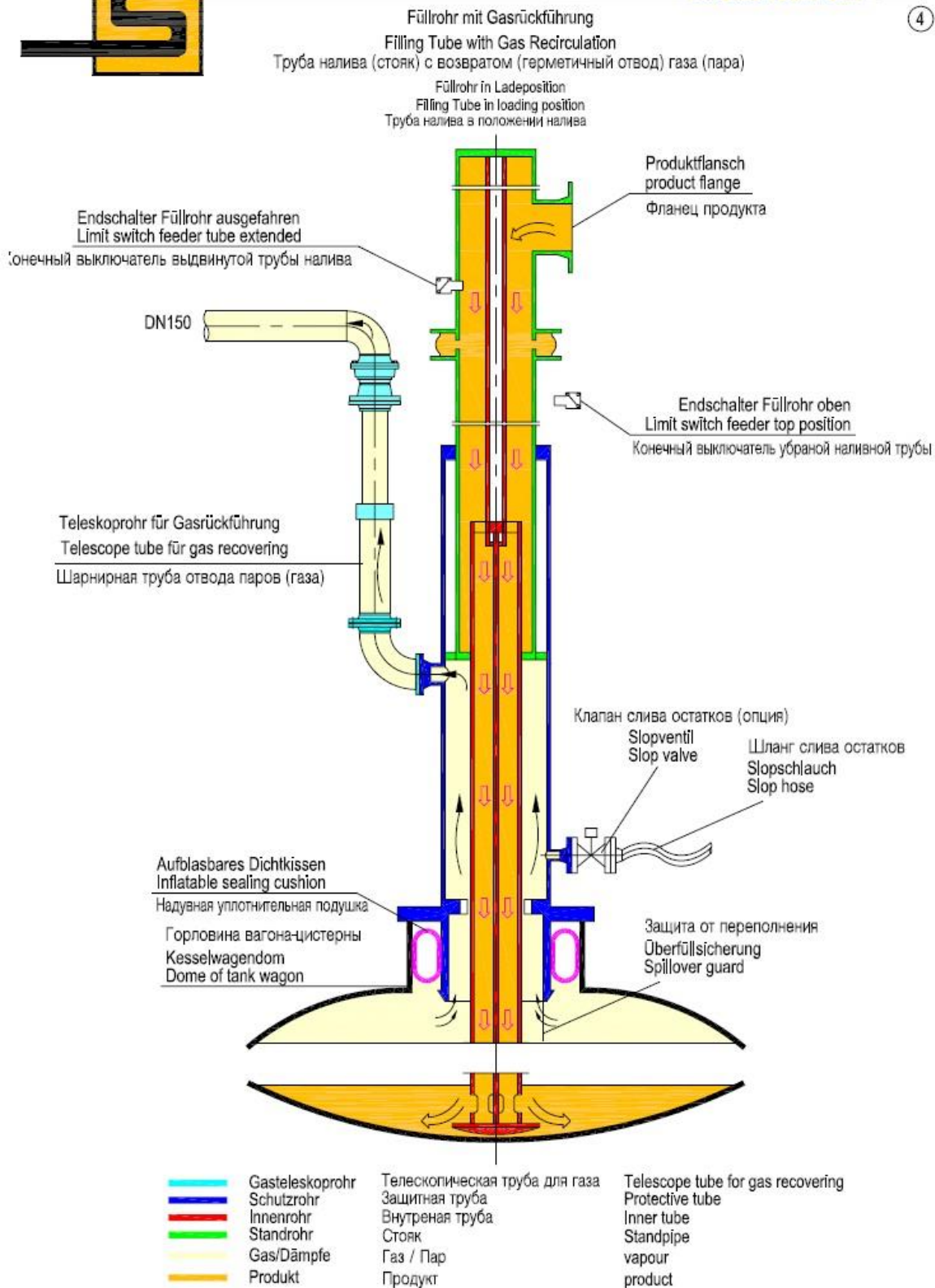
When starting up the filling tube system, the overfill safety is adjusted such that the shutdown of the overfill safety is effected if the maximum permissible filling level is attained.

As an alternative to the pneumatic overfill safety, we also offer special sensors with a limit shut-off feature. Please send an email if you would like to receive additional information in this regard.

Pressure Measurement of Gas Phase

By actuating a filling tube, the pressure compensation line is switched to the corresponding filling tube. The air line of the pressure transmitter is thus connected with the pressure gauge line of the actuated filling tube.

This allows for monitoring the pressure in the rail car. In case of a pressure increase of up to 300 mbar in the gas line (country-specific), the filling process is automatically shut down.



ANEXO B

Esquema do sistema carregamento automatizado de vagões, incluindo dispositivos para detecção do bocal, conforme desenvolvido pela EMCO Wheaton.

Fonte:

http://www.precision.cl/productos/themes/precision_cat/pdf_ficha/Spotloader.pdf

