



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

DIMENSIONAMENTO DE UM COLETOR COMPACTADOR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS SOBRE CHASSI

Rodrigo Luiz Metne Ribeiro

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Armando Carlos de Pina Filho

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Departamento de Engenharia Mecânica
DEM/POLI/UFRJ



DIMENSIONAMENTO DE UM COLETOR COMPACTADOR DE RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS SOBRE CHASSI

Rodrigo Luiz Metne Ribeiro

PROJETO FINAL SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO MECÂNICO.

Aprovado por:

Prof. Armando Carlos de Pina Filho, D.Sc.

Prof. Anna Carla Monteiro de Araujo, D.Sc.

Prof. Jules Ghislain Slama, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
FEVEREIRO DE 2017

Ribeiro, Rodrigo Luiz Metne

Dimensionamento de um Coletor Compactador de resíduos sólidos urbanos sobre Chassi / Rodrigo Luiz Metne Ribeiro. – Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2017. CXII, 0 p. 29, 7cm.

Orientador: Armando Carlos de Pina Filho

Projeto de Graduação – UFRJ/Escola Politécnica/ Departamento de Engenharia Mecânica, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 100 – 102.

1. Coletor de lixo. 2. Compactador. 3. Resíduos sólidos. 4. Hidráulica. 5. Projeto de máquinas. I. Pina Filho, Armando Carlos de. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Mecânica. III. Dimensionamento de um Coletor Compactador de resíduos sólidos urbanos sobre Chassi.

*"Science is but a perversion of
itself unless it has as its ultimate
goal the betterment of humanity"*

N. Tesla

Agradecimentos

Gostaria de começar agradecendo meus pais, Flávia Faisal Metne Sampaio e Antônio Luiz Vasques Ribeiro, por todo amor, carinho, esforço e cobranças quando necessário. Sem vocês nada seria possível.

Agradeço também meu irmão Thiago Luiz e minha irmã gêmea Anna Luiza por todo apoio, companhia e pelo exemplo que constantemente me passam.

À minha companheira de todas as horas, Priscyla, com quem dividi todos os segundos da minha formação.

Aos meus amigos Sudá, Júlio, Vinicius, Rafaell, Gruzman, Daniel, Bernardo, Rodrigo Sudá e Pedro Caetano. Sem estes, a graduação teria sido muito menos divertida.

Aos meus parceiros de equipe Minerva Aerodesign. Com estes eu descobri a minha paixão pela engenharia e pelo trabalho em equipe.

Aos meus amigos de infância Danilo, Dully, Fabio e Yuri, que sempre me apoiam independente do momento, além do meu amigo Alessandro, grande engenheiro e profissional que me auxiliou e me instruiu muito neste projeto.

Ao professor Armando, por toda sua atenção e incentivo quanto a orientação deste projeto.

Finalmente, gostaria de agradecer a minha madrinha Elizabeth e ao meu avô Mario, duas das melhores pessoas que tive o prazer de conviver. Pessoas iluminadas que nos deixaram recentemente, mas que estarão sempre no meu coração.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico

DIMENSIONAMENTO DE UM COLETOR COMPACTADOR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS SOBRE CHASSI

Rodrigo Luiz Metne Ribeiro

Fevereiro/2017

Orientador: Armando Carlos de Pina Filho

Curso: Engenharia Mecânica

A coleta de lixo é uma atividade essencial na rotina de qualquer sociedade, e diante de um mundo cada vez mais produtivo, é fundamental que os equipamentos de coleta acompanhem essa evolução. No Brasil, a maior parte dos resíduos sólidos é coletada e transportada através de caminhões compactadores de resíduos, amplamente conhecidos como caminhões de lixo. No entanto, o que se vê nas ruas, em geral, são equipamentos bastante desgastados, barulhentos, e que trazem certo questionamento sobre seu projeto. O presente trabalho, então, tem como objetivo analisar e dimensionar um caminhão de lixo, para que seja possível compreender melhor seu funcionamento, seus elementos críticos, e como pode ser possível melhorá-los futuramente. Para isso, realizou-se aqui uma breve introdução aos resíduos sólidos, a seleção e dimensionamento de um equipamento para determinada missão, análise e seleção de todos os componentes hidráulicos, análise estrutural de componentes críticos, além da verificação de parâmetros relativos à escolha do chassi que receberá o equipamento.

Palavras-chave: Coletor de lixo, Compactador, Resíduos sólidos, Hidráulica, Projeto de máquinas

Abstract of Graduation Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Mechanical Engineer

DESIGN OF A TRUCK MOUNTED URBAN SOLID WASTE COMPACTOR

Rodrigo Luiz Metne Ribeiro

February/2017

Advisor: Armando Carlos de Pina Filho

Course: Mechanical Engineering

Garbage Collection is an essential activity in the routine of any society, and in the face of an increasingly productive world, it is primordial that the equipments follow this development. In Brazil, most of solid waste is collected and transported by rear loader compactors, widely known as garbage trucks. However, noisy and worn equipments can be seen on the streets, which brings some questions about the project. The present work, therefore, aims to analyze and design a rear loader garbage truck, which makes possible to better understand its operation, its critical elements, and how it can be possible to improve them in the future. For this purpose, a brief introduction to solid waste, selection and designing of an equipment and all its hydraulic components, a structural analysis of critical components, and a verification of parameters related to the choice of chassis have been done here for a specific mission.

Keywords: Garbage truck, Solid waste, Hydraulics, Machine design

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	2
1.2	Metodologia	2
1.3	Estrutura do trabalho	3
2	Resíduos sólidos e sua coleta no Brasil	4
2.1	Definições	4
2.2	Histórico da limpeza urbana	4
2.3	Classificações dos RSU's	6
2.3.1	Classificação pelos riscos potenciais de contaminação	7
2.3.2	Classificação pela origem	8
2.4	Características	9
2.4.1	Características Físicas	9
2.4.2	Características químicas	10
2.4.3	Características biológicas	10
2.5	A Coleta	10
2.6	Equipamentos	11
3	Dimensionamento do Equipamento	16
3.1	O equipamento	16
3.1.1	Chassi	17
3.1.2	Caçamba	18
3.1.3	Porta	19
3.2	Funcionamento do equipamento	20
3.3	Requisitos do projeto	21
3.3.1	Características do equipamento	21
3.3.2	Missão	22
3.4	Seleção do chassi	25
3.4.1	Peso bruto total	26
3.4.2	Distribuição de carga nos eixos	27
3.4.3	Motor e caixa de marchas	28

3.4.4	Distância entre eixos	28
3.5	Dimensões gerais do coletor	30
4	Hidráulica	33
4.1	Sistemas hidráulicos	33
4.2	Princípio de Pascal	34
4.3	Escoamento em tubulações	34
4.4	Atuadores hidráulicos	35
4.4.1	Cilindros Compactadores	37
4.4.2	Cilindros Transportadores	41
4.4.3	Cilindros de Levantamento	45
4.4.4	Cilindro Ejetor	47
4.5	Fluido Hidráulico	50
4.6	Sistema gerador	50
4.6.1	Tomada de força	52
4.6.2	Dimensionamento da Bomba	53
4.6.3	Filtros	57
4.6.3.1	Filtro de sucção	57
4.6.3.2	Filtro de retorno	57
4.7	Dimensionamento de Tubos e Mangueiras	58
4.7.1	Tubos	58
4.7.2	Mangueiras	60
4.8	Sistema de controle	61
4.8.1	Válvulas direcionais	62
4.8.2	Válvulas reguladoras de pressão	63
4.8.3	Comandos múltiplos	64
4.8.4	Seleção do sistema de controle do equipamento	64
4.8.4.1	Comando dianteiro	65
4.8.4.2	Comando Traseiro	66
4.9	Perda de carga na linha de pressão	67
4.10	Performance	70
5	Estrutura	72
5.1	Resistência dos materiais	72
5.1.1	Seleção de materiais	75
5.1.1.1	Aços carbono comuns	76
5.1.1.2	Aços Inoxidáveis	76
5.1.1.3	Aços resistentes a abrasão	78
5.2	Estrutura da Caçamba	79
5.2.1	Longarina	79

5.2.2	Piso	80
5.3	Elementos de fixação no chassi	82
5.3.1	Paredes	83
5.4	Vigas e colunas	83
5.4.1	Coluna da caçamba	84
5.4.2	Viga de sustentação da porta traseira	86
5.4.3	Viga dos cilindros compactadores	88
5.5	Eixos de fixação	89
5.6	Distribuição de cargas	93
5.6.1	Chassi	93
5.6.2	Compactador	94
5.6.3	Carga de lixo	95
5.6.4	Conjunto	95
6	Considerações finais	97
6.1	Resultados	97
6.2	Conclusões	98
6.3	Propostas de trabalhos futuros	98
	Referências Bibliográficas	100

Capítulo 1

Introdução

O Lixo é um problema inevitável, e que diante de um mundo cada vez mais competitivo e produtivo, afeta comunidades do mundo inteiro. Segundo [1], coletar o lixo significa “recolher o lixo acondicionado por quem produz para encaminhá-lo, mediante transporte adequado, a uma possível estação de transferência, a um eventual tratamento e à disposição final.”, sendo assim, apesar do Brasil coletar aproximadamente 90% dos resíduos sólidos urbanos (RSU) que são gerados no país (Figura 1.1’ e 1.2), ainda existem regiões em que esse índice não chega a 80%, e portanto, cerca de 20.000 toneladas de resíduos sólidos deixam de ser coletados. Estes números nos remetem a uma reflexão sobre a dificuldade e a eficiência da coleta de resíduos sólidos no Brasil, sobretudo em regiões com condições econômicas limitadas.

Regiões	2013	2014		
	RSU Gerado (t/dia)/ Índice (Kg/hab/dia)	População Total	RSU Gerado (t/dia)	Índice (Kg/hab/dia)
Norte	15.169 / 0,892	17.261.983	15.413	0,893
Nordeste	53.465 / 0,958	56.186.190	55.177	0,982
Centro-Oeste	16.636 / 1,110	15.219.608	16.948	1,114
Sudeste	102.088 / 1,209	85.115.623	105.431	1,239
Sul	21.922 / 0,761	29.016.114	22.328	0,770
BRASIL	209.280 / 1,041	202.799.518	215.297	1,062

Figura 1.1: Quantidade de RSU gerado [2]

Na prática, mais de 200.000 toneladas de resíduos sólidos precisam ser coletados diariamente no Brasil, sendo grande parte coletados por empresas especializadas contratadas pelo setor público, ou por grandes geradores de resíduos. Esta logística é bastante complexa e a maior parte desses resíduos é levada para seu destino através de caminhões compactadores. A coleta de resíduos sólidos é um processo severo, que não tolera erros e onde qualquer defeito no equipamento pode acarretar grandes transtornos para a sociedade, o que justifica uma análise mais detalhada sobre os

fatores de seleção e de projeto destes equipamentos, e como estes influenciam na eficiência da coleta de lixo no Brasil.

Regiões	2013	2014	
	RSU Coletado (t/dia) / Índice (Kg/hab/dia)	RSU Coletado (t/dia)	Índice (Kg/hab/dia)
Norte	12.178 / 0,716	12.458	0,722
Nordeste	41.820 / 0,750	43.330	0,771
Centro-Oeste	15.480 / 1,032	15.826	1,040
Sudeste	99.119 / 1,173	102.572	1,205
Sul	20.622 / 0,716	21.047	0,725
BRASIL	189.219 / 0,941	195.233	0,963

Figura 1.2: Quantidade de RSU coletado [2]

1.1 Objetivos

Tendo em vista este panorama da coleta no Brasil e a importância de um serviço eficiente, este trabalho tem como objetivo analisar os principais fatores de projeto e de seleção do equipamento de coleta e transporte de RSU mais utilizado no Brasil, o compactador sob chassi do tipo carga traseira, e verificar como estes fatores influenciam na eficiência da coleta. Para isso, alguns objetivos específicos foram estipulados, são eles:

- Conceituar resíduos sólidos e analisar o histórico e a situação atual de sua coleta no Brasil, apresentando os principais tipos de equipamentos utilizados.
- Seleção e dimensionamento de um equipamento para determinada missão.
- Analisar e selecionar componentes hidráulicos
- Analisar e selecionar componentes estruturais

1.2 Metodologia

Para um efetivo desenvolvimento dos objetivos estipulados acima, adotou-se neste trabalho um processo metodológico de pesquisa exploratório e descritivo, com apresentação de análises qualitativas e quantitativas. Além da fundamentação teórica de cada tópico abordado, será utilizado como fonte: Catálogos de fabricantes, o *software* SolidWorks 2016 para desenhos e simulações de elementos, a ferramenta Google maps para estimativas de percursos de coletas, documentos legais como normas técnicas e regulamentos, além de observações diretas em campo.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho foi organizado de forma que cada objetivo específico seja alcançado em um capítulo. Além desta primeira seção de introdução, o texto será dividido em mais 5 partes, que são:

- Capítulo 2 – Neste, o foco será nos resíduos sólidos em si, tratando sobre suas definições, o histórico da coleta no Brasil, os diferentes tipos de RSU, aspectos sociais e econômicos e os tipos de equipamentos usados para a coleta.
- Capítulo 3 – Será apresentado neste capítulo o funcionamento do equipamento, a missão proposta para este, aspectos sobre a seleção do chassi e a seleção/dimensionamento do coletor.
- Capítulo 4 – Neste capítulo, o foco será a hidráulica do equipamento, identificando e selecionando componentes, além de breve revisão teórica sobre o assunto.
- Capítulo 5 – Regiões observadas como mais críticas quanto a esforços estruturais serão analisadas e dimensionadas.
- Capítulo 6 – Aqui serão apresentadas as principais conclusões e observações sobre o trabalho, além de ideias para trabalhos futuros

Capítulo 2

Resíduos sólidos e sua coleta no Brasil

2.1 Definições

Antes de qualquer análise e dimensionamento dos equipamentos compactadores de lixo, é necessário conceituar e expandir a visão que temos sobre os resíduos sólidos urbanos. Segundo o dicionário da língua portuguesa Michaelis, "lixo são Resíduos provenientes de atividades domésticas, industriais, comerciais etc. que não prestam e são jogados fora", já a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, caracteriza lixo como "restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis, podendo-se apresentar no estado sólido, semi-sólido ou líquido, desde que não seja passível de tratamento convencional.". Na prática, a maioria dos autores não diferenciam os termos "lixo" e "resíduo sólido", portanto, neste trabalho, os termos serão tratados de forma indistinta e significarão todo material sólido ou semi sólido, desnecessário ou escusado por quem descartou, e que precisa ser coletado. Tendo definido o que são resíduos sólidos, é importante destacar que estes possuem certa reversibilidade, ou seja, o que é descartado ou considerado inútil por alguns, pode ser matéria prima para outros, desde que seja devidamente coletado e classificado.

2.2 Histórico da limpeza urbana

O Brasil, território de dimensões continentais e que se desenvolveu de forma desigual ao longo de sua história, é um país repleto de singularidades, e portanto, apresenta grandes dificuldades para se estabelecer um panorama completo sobre a limpeza urbana através do tempo [3]. Além disso, o Brasil não possui uma política nacional de resíduos sólidos. Soma-se isto ao fato de poucas regiões preservarem

o seu histórico sobre limpeza urbana, e uma análise geral desta questão se torna praticamente inviável. De qualquer forma, pode-se traçar o histórico de uma região importante mostrando avanços e dificuldades evidenciados ao longo dos anos, e neste trabalho isto será feito para a cidade do Rio de Janeiro.

As cidades do litoral brasileiro, sempre apresentaram entraves para enterrar o lixo nas próprias residências ou em seus arredores, visto que se tratavam de regiões pantanosas e demasiadamente úmidas (os lençóis freáticos se localizam mais acima quando comparado às demais regiões), portanto, todos estes resíduos gerados precisavam ser transportados para longe das casas. Inicialmente, no Rio de Janeiro, a desagradável obrigação de carregar e transportar o lixo das casas era do escravo da família de valor mais baixo, os “tigres” (figura 2.1). Segundo [3], todas as noites depois de certa hora, estes escravos carregavam resíduos e excremento em cima de suas cabeças, em vasilhames inapropriados que resultavam em inúmeros acidentes.



Figura 2.1: "Tigre", J.C.Guilhobel, Rio de Janeiro, 1814

Durante o século XIX, esta situação tentou ser melhorada através de alguma organização desta prática. Foram estabelecidos pela câmara municipal do Rio de Janeiro, horários para os escravos transportarem o lixo, assim como locais de despejo, barris fechados e carroças para o transporte dos resíduos. Em 1854, o governo imperial assumiu a responsabilidade da limpeza urbana, o que não apresentou grandes resultados, porém, em 1864, uma companhia inglesa chamada "The Rio de Janeiro City Improvements Company Limited" implantou um sistema de esgoto em parte

da cidade, o que tornou possível uma especialização na limpeza urbana, direcionada devidamente para lixo. Outro importante marco para a limpeza urbana da cidade, foi em outubro de 1876, quando a empresa de Aleixo Gary foi contratada, e até hoje, os empregados coletores de lixo são chamados de garis. A empresa contratada introduziu novidades, como canos especiais para coleta de resíduos e irrigação de ruas, mas mesmo assim, a implementação de serviços de limpeza se deparava com diversos problemas técnicos, financeiros, administrativos e culturais. A partir de 1891, os serviços de limpeza foram designados a Inspetoria de Limpeza Pública, que em 1895 começou a desenvolver um forno para queima de lixo. Mesmo não obtendo sucesso, este tema foi uma foi constantemente abordado até a década de 60.

Em 1940, a Diretoria de Limpeza Urbana (DLU) foi criada, e em 1975, foi a vez da Companhia de Limpeza Urbana (COMLURB) ser fundada, empresa que efetua os serviços de limpeza urbana no município até hoje. O Rio de Janeiro só passou a ter um aterro apropriado no final da década de 70, e atualmente, a cidade possui também uma área auxiliar de destinação do lixo, de qualquer forma, o Rio de Janeiro encontra dificuldades para se definir um aterro sanitário novo.

O Brasil como um todo procurou novidades técnicas no tratamento e na coleta de lixo ao longo dos séculos XX e XXI. Como já foi dito, inicialmente uma alternativa para tratamento era a incineração do lixo (processo que além de caro, gera grande quantidade de cinzas), e depois, a coleta para usinas de triagem e compostagem. Já a coleta seletiva foi implementada pela primeira vez na cidade de Curitiba, e hoje já são mais de 200 cidades com o sistema implementado. Algumas empresas também investem atualmente na compra de equipamentos modernos para a limpeza pública: caçambas estacionárias que compactam o lixo, caminhões de coleta automática (onde só é necessário um funcionário, o motorista) e varredoras de pista são alguns exemplos. Hoje em dia, é necessário entender a importância social e econômica de um sistema de limpeza urbana adequado (que inclua: varrição adequada, separação preliminar de materiais para compostagem, reciclagem, aterros sanitários e um eficiente sistema de coleta de RSU's), pois só assim pode-se obter incentivos necessários para o desenvolvimento de equipamentos e processos cada vez melhores.

2.3 Classificações dos RSU's

São inúmeras as formas de classificar os resíduos sólidos, e assim como em [1], serão apresentadas duas: Quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente, e quanto a sua natureza ou origem.

2.3.1 Classificação pelos riscos potenciais de contaminação

A norma NBR 10.004 da ABNT [4] classifica os resíduos sólidos pelos riscos potenciais de contaminação, e assim, os subdivide em três grupos: Resíduos perigosos (classe I) e Resíduos não perigosos (classe II), inertes e não inertes. O fluxograma da figura 2.2, retirado da própria norma, nos mostra como se dá essa classificação.

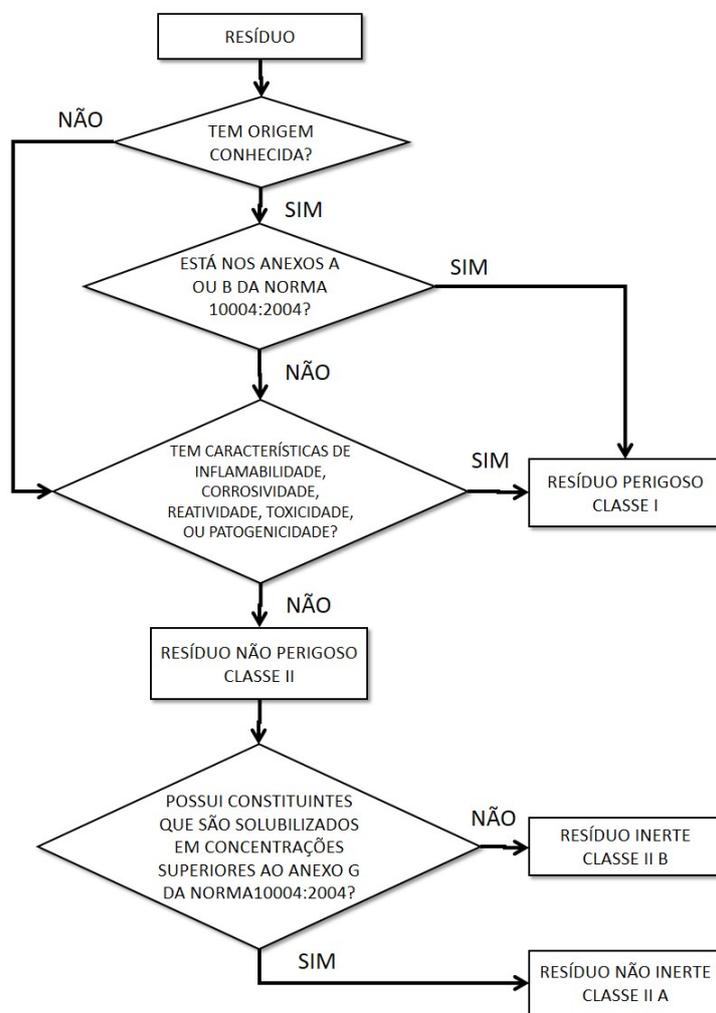


Figura 2.2: Classificação pelos riscos potenciais de contaminação (Fonte: Norma ABNT NBR 10004-2004)

- Resíduos perigosos classe I
São aqueles que apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade, e portanto trazem riscos à saúde pública e ao meio ambiente caso sejam manipulados de forma inadequada.
- Resíduos não inertes classe II A
São aqueles que apresentam características de combustibilidade e biodegradabilidade, que podem trazer riscos à saúde ou ao meio ambiente, e que não se enquadram nas características do grupo acima.

- Resíduos inertes classe II B

São aqueles que não apresentam riscos à saúde e ao meio ambiente, e que quando submetidos a um contato com água destilada (nos padrões de teste da norma NBR 10006), não apresentaram nenhum de seus componentes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, exceto os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor.

2.3.2 Classificação pela origem

Segundo [1], a origem (local onde o lixo é gerado) é o que melhor caracteriza o lixo, e o subdivide em cinco grupos:

- Lixo doméstico
- Lixo comercial
- Lixo público
- Lixo domiciliar especial:
 - Entulho de obras
 - Pilhas e baterias
 - Lâmpadas fluorescentes
 - Pneus
- Lixo de fontes especiais
 - Lixo industrial
 - Lixo radioativo
 - Lixo de portos, aeroportos e terminais rodoferroviários
 - Lixo agrícola
 - Resíduos de serviços de saúde

Em geral, nas atividades de limpeza urbana, a maior parte dos resíduos sólidos gerados é do tipo doméstico, comercial e público, que juntos formam o que chamamos de “Lixo domiciliar”, serão estes os tipos de resíduos abordados neste trabalho.

2.4 Características

As características dos RSU's variam em função de aspectos socio econômicos, culturais, climáticos e geográficos, ou seja, os mesmos fatores que diferenciam comunidades entre si [1]. Portanto, a partir destas características dos RSU's, é possível compreender também singularidades destas comunidades, e esta análise do lixo geralmente é efetuada através de suas características físicas, químicas e biológicas.

2.4.1 Características Físicas

- **Geração per capita** - Geração per capita nada mais é do que a quantidade de lixo produzido diariamente por habitante de determinada região (geralmente em kg/habitante/dia). Estima-se que no Brasil, essa característica flutue entre 0,5 a 0,8 kg/hab/dia.
- **Composição gravimétrica** - Explicita o percentual de cada componente do resíduo sólido em relação ao peso total da amostra. A figura 2.3 nos mostra um exemplo resumido de composição gravimétrica do lixo de diferentes países. Também fica evidente um percentual de matéria orgânica menor nos países considerados mais desenvolvidos, o que pode ser reflexo de uma importante característica de industrialização.

Faixas mais utilizadas da geração per capita		
TAMANHO DA CIDADE	POPULAÇÃO URBANA (habitantes)	GERAÇÃO PER CAPITA (kg/hab./dia)
Pequena	Até 30 mil	0,50
Média	De 30 mil a 500 mil	De 0,50 a 0,80
Grande	De 500 mil a 5 milhões	De 0,80 a 1,00
Megalópole	Acima de 5 milhões	Acima de 1,00

Figura 2.3: Composição gravimétrica de países - Fonte:[1]

- **Peso específico aparente** - É a razão entre a massa do lixo solto e o volume ocupado livremente pelo lixo. Esta característica é fundamental para dimensionamento de equipamentos, e em geral, pode-se usar $200kg/m^3$ para lixo domiciliar, $280kg/m^3$ para lixo hospitalar e $1300kg/m^3$ para entulhos de obras.
- **Teor de Umidade** - Representa a quantidade de água presente no RSU medida em percentual do seu peso. Este parâmetro não é constante e se altera nas estações do ano e com a frequência das chuvas.

- **Compressibilidade** - Talvez seja a característica mais importante para este trabalho, representa o nível de redução de volume que o RSU pode sofrer quando for compactado. Quando submetido a uma pressão de $4kg/cm^2$, o volume de lixo é reduzido de 1/3 a 1/4 de seu volume original [1]. Este valor será utilizado como base para o dimensionamento do equipamento de compactação do lixo.

2.4.2 Características químicas

- **Poder calorífico** – Característica química que nos indica a energia liberada quando o RSU é submetido a queima. O poder calorífico médio do lixo domiciliar varia em torno de 5000kcal/kg
- **Potencial hidrogeniônico (pH)** – É o teor de alcalinidade ou acidez dos resíduos, normalmente esta entre 5 e 7.
- **Relação carbono nitrogênio** – Esta relação nos mostra o grau de decomposição da matéria orgânica do RSU nos processos de tratamento ou disposição final.

2.4.3 Características biológicas

Determinadas pela população microbiana e de agentes patogênicos presentes no RSU. Junto com uma análise das características químicas do lixo, é possível selecionar os métodos de tratamento e disposição final mais adequados.

2.5 A Coleta

Após conceituar, classificar e apontar as principais características dos RSU, torna-se evidente a relevância de sua coleta. Como já foi dito na introdução deste trabalho, coletar significa recolher e transportar os RSU e direcioná-los a uma estação de transbordo, uma usina de triagem ou ao sítio de sua destinação final. O principal objetivo da coleta de lixo, é evitar problemas de saúde pública, enchentes e manter a estética da região, resultando em uma melhor qualidade de vida. Para que isto seja possível, a coleta de lixo precisa ser eficiente, ou seja, precisa ter planejamento técnico, equipamentos adequados e participação da comunidade.

O primeiro parâmetro de grande importância para a coleta de lixo é a sua regularidade, a coleta precisa ser efetuada em cada gerador, nos mesmos dias da semana e em horários regulares, sendo que o tempo decorrido entre a geração do resíduo e seu destino final não deve passar de 3 dias, pois isto pode acarretar proliferação de insetos, aumento de mau cheiro e incidência de animais roedores. Mantendo esta

regularidade, a população se habitua e se condiciona a colocar seus resíduos no local e no momento correto para a coleta. Também é importante considerar a capacidade de armazenamento para estabelecer a frequência ideal de coleta, visto que em favelas e comunidades por exemplo, as edificações não tem capacidade de armazenar os resíduos por mais de um dia (isto também ocorre nos centros de cidades, onde estabelecimentos comerciais produzem grandes quantidades de lixo). Nestes locais, o ideal é que a frequência de coleta seja diária.

Além da frequência, o horário da coleta também é um fator crucial, e que pode significar uma grande redução dos custos. Na prática, a coleta deve ser realizada em dois turnos, cada um representando 1/4 do total de itinerários, sendo que em locais estritamente residenciais, a coleta deve ser realizada durante o dia [1]. Em caso de coleta noturna, é de suma importância que se atente aos ruídos, como o das vozes dos coletores de lixo, e o do motor a alta rotação.

2.6 Equipamentos

Como já foi dito anteriormente, o ser humano sempre teve o problema de se livrar do lixo produzido e inúmeras formas de descarte foram criadas, mas independente do método utilizado, o lixo tem de ser transportado. Os primeiros equipamentos de transporte de RSU's foram simples “carrinhos” puxados por homens e posteriormente por animais, mas depois da invenção do automóvel no início do século XIX, não demorou muito para, no final deste século, aparecerem os primeiros caminhões de lixo (figura 2.4).

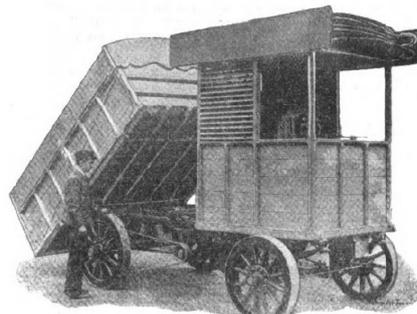


Figura 2.4: Primeiro veículo de transporte de RSU

O primeiro veículo que se tem notícia foi encomendado pelo distrito de Chiswick na Inglaterra, e fabricado pela companhia Thornycroft Steam Wagon and Carriage em 1897, descrito como: um automóvel movido a vapor, com um novo design de corpo específico para coleta de poeira e resíduos domésticos. Na década de 1920, surgiram os primeiros veículos “abertos”, mas devido ao mau cheiro e a queda dos resíduos pela traseira, os veículos fechados se tornaram mais populares. Em 1938,

um veículo revolucionou a indústria pelo fato de incluir um sistema para compactar o lixo na traseira, era o Garwood Load packer (figura 2.5), e este conseguia dobrar a capacidade de um veículo tradicional da época, devido a um sistema hidráulico que funcionava como prensa.



Figura 2.5: Primeiro veículo compactador de RSU

Atualmente existem diversos tipos de equipamentos, e pode-se classificá-los como compactadores e não compactadores. A seguir, serão apresentados alguns destes equipamentos e suas principais vantagens e desvantagens.

As carrocerias não compactadoras são:

- **Caminhão basculante convencional** – Veículo de dois ou três eixos, com capacidade de 5 a $12m^3$, utilizado para remoção de lixo público (figura 2.6). Amplamente empregado no transporte de cascalho, pedra britada, areia e outros insumos utilizados na construção civil, mineração e etc. Possui a vantagem de ser versátil quanto a sua carga, porém, pode exigir um esforço maior dos garins devido a altura da carroceria, e a exposição dos resíduos a chuva e vento pode acarretar problemas.



Figura 2.6: Caminhão basculante

- **Caminhão Baú** – Também denominado “prefeitura” é utilizado em comunidades de baixa densidade demográfica e locais íngremes, sua capacidade varia de 4 a $12m^3$. Possui a vantagem de acomodar bem os RSU's, evitando que fiquem expostos ou se espalhem (figura 2.7), além de ser um equipamento de baixo custo de aquisição e manutenção. Entretanto, também exige um maior

esforço dos garis, e sua produtividade é baixa quando comparada com outros tipos de equipamentos.



Figura 2.7: Caminhão baú

- **Carreta** – Semi reboque basculante que em geral possui capacidade de $25m^3$. Geralmente é utilizada para transporte de entulho (figura 2.8). A carga deste equipamento é feita através de outro equipamento, a pá carregadeira, que se trata de um trator escavo-carregador.



Figura 2.8: Carreta

- **Roll-on Roll-off** – Caminhão coletor de lixo que opera carregando contêineres estacionários (estes podem ser compactadores ou não compactadores). São bastante úteis para grandes geradores de resíduos, que armazenam o lixo em caçambas compactadoras estacionárias por alguns dias, até que seja necessário efetuar a coleta 2.9.



Figura 2.9: Roll-on roll-off

As carrocerias com compactação são:

- **Carga frontal** - Geralmente atendem a empresas comerciais e industriais que utilizam grandes recipientes de lixo com tampas conhecidas como Dumpsters nos EUA. O caminhão é equipado com garfos na frente que o motorista alinha cuidadosamente com as alças no recipiente de resíduos usando um joystick ou um conjunto de alavancas (figura2.10). O recipiente de resíduos é então levantado sobre o caminhão e uma vez que chega ao topo, é virado de cabeça para baixo e os resíduos são despejados na caçamba do veículo. Depois que coletados, os resíduos são compactados por um painel movido hidraulicamente que oscila para trás e para a frente para empurra-los para a traseira do veículo. Quando a caçamba está completamente carregada, este painel de compactação realiza seu percurso completo até a parte traseira da caçamba, ejetando o lixo através de uma porta traseira aberta.



Figura 2.10: Carga frontal

- **Carga lateral** – São equipamentos carregados lateralmente, manualmente ou com a ajuda de um braço robótico controlado por joystick, usado para levantar e inclinar os contêineres de lixo (figura2.11). Semelhante a um carga frontal, o resíduo é compactado por um painel compactador oscilante na frente da caçamba do caminhão, que força os resíduos através de uma abertura para dentro do corpo principal e é, portanto, compactada para a traseira do caminhão. Um carga lateral automatizado só precisa de um operador, onde um caminhão de lixo de carga traseira tradicional pode exigir duas ou três pessoas, e portanto tem a vantagem adicional de reduzir as lesões no trabalho devido ao trabalho pesado repetitivo. Devido a estas vantagens, os veículos de carga lateral automáticos se tornaram mais populares do que a versão manual tradicional, embora possua um custo bem elevado, tanto de aquisição quanto de manutenção. Os veículos de carga lateral semi-automatizados usam um mecanismo automatizado para levantar e despejar recipientes de lixo manualmente alinhados dentro do corpo principal do caminhão. A principal diferença entre os carga lateral semi-automatizados e os automatizados, é a necessidade dos semi-automatizados de mais de uma pessoa para operar o caminhão e para trazer e alinhar manualmente os contêineres para o garfo de carregamento.



Figura 2.11: Carga lateral

- **Carga traseira** - Estes são os equipamentos mais utilizados no Brasil. Os carga traseira são abertos na parte de trás do veículo onde os coletores de lixo podem jogar os sacos de lixo ou esvaziar as lixeiras (figura 2.12). Geralmente, estes veículos também possuem um sistema de basculamento para automaticamente esvaziar grandes quantidades de lixo sem muito esforço dos coletores. Independente do modelo de equipamento, cilindros hidráulicos movimentam os painéis compactadores do veículo, e mesmo que a forma como operam seja diferente, o conceito é basicamente o mesmo. Serão estes os veículos abordados neste trabalho e, no próximo capítulo, será apresentada uma visão mais detalhada de seu funcionamento, além de um completo dimensionamento hidráulico



Figura 2.12: Carga traseira

Capítulo 3

Dimensionamento do Equipamento

Após esta breve análise sobre o lixo no Brasil, abordando um pouco de seu histórico, definições, classificações entre outros aspectos, pode-se desenvolver o projeto mecânico de um equipamento adequado para coletar eficientemente estes resíduos. Segundo [[5]], projeto de engenharia mecânica envolve todas as disciplinas da Engenharia Mecânica, ou seja, Mecânica dos sólidos, Mecânica dos fluidos, transporte de massa e momentum, processos de fabricação, teorias da informação e eletricidade. Além disso, o processo de projeto, na maioria das vezes, é descrito como na figura 3.1, onde:

- A Identificação da necessidade inicia o projeto e se dá por algum descontentamento, sentimento de inquietação.
- A Definição do problema especifica e inclui todas as especificações do objeto a ser projetado, ou seja, as características e limitações
- Síntese, análise e otimização estão íntima e repetidamente interligados. Primeiro interliga-se elementos propostos do sistema, investigando e quantificando resultados, para que sejam analisados e melhorados
- Avaliação e apresentação são as fases finais do projeto. Primeiro avalia-se o projeto finalizado em um ambiente controlado, e caso apresente os resultados desejados, apresenta-se para terceiros.

Devido ao seu caráter teórico, neste trabalho serão realizadas somente as fases: reconhecimento da necessidade (abordada no capítulo 2), definição do problema, síntese e análise e otimização, apresentando seus resultados e conclusões.

3.1 O equipamento

Como foi dito no capítulo anterior, o equipamento a ser desenvolvido neste trabalho é o caminhão compactador de lixo do tipo carga traseira. Este equipamento é

o mais utilizado no Brasil, e apresenta inúmeras vantagens, como: a capacidade de coletar grandes volumes, alta velocidade operacional, baixo índice de derramamento de resíduos, rápido descarregamento, boas condições ergométricas para o serviço dos garis, entre outras. O equipamento completo é composto pelo chassi do caminhão e pelo implemento, que é o compactador em si, e objeto de estudo deste trabalho. Por sua vez, o implemento também pode ser subdividido em duas grandes estruturas: a caçamba (ou caixa), e a porta. Essas divisões estão na ilustradas na figura 3.2



Figura 3.1: Fases do projeto

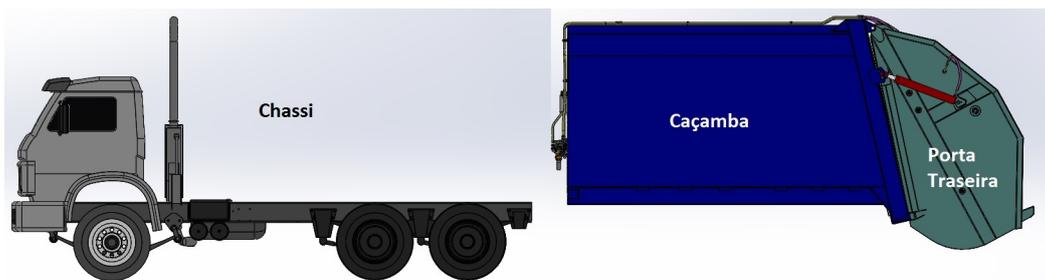


Figura 3.2: Chassi e implemento

3.1.1 Chassi

Não é o escopo deste trabalho projetar um chassi para o compactador de lixo, mas uma análise será feita para selecionar um modelo presente no mercado que seja adequado para esta aplicação. Dois componentes acoplados ao chassi são de extrema importância para o funcionamento do coletor e merecem uma breve descrição, são eles:

- **Tomada de força** - Tomada de força ou PTO (Power take-off) é um eixo propulsor, muito comum em máquinas agrícolas e maquinários pesados, usado para a transferência de força mecânica do motor do veículo ao implemento (figura 3.3).



Figura 3.3: Tomada de força

- **Bomba hidráulica** - É o equipamento responsável pela transformação da energia mecânica vinda do chassi através da PTO, em energia hidráulica para movimentar os atuadores hidráulicos

3.1.2 Caçamba

A caçamba é a estrutura em forma de caixa que acomoda os resíduos sólidos já compactados, nela estão presentes importantes componentes, como:

- **Reservatório hidráulico** – Sua função mais evidente é servir como depósito do fluido a ser utilizado no sistema, mas também desempenha tarefas como ajudar no resfriamento do fluido e precipitar impurezas do sistema.
- **Cilindros de levantamento** – Cilindros hidráulicos de simples efeito, responsáveis pelo levantamento de toda a estrutura da porta, para que o lixo possa ser ejetado da caçamba pelo painel ejetor.
- **Painel ejetor** – O painel ejetor funciona como uma parede móvel, os resíduos são empurrados contra ele até que a pressão necessária para que ocorra a compactação desejada seja atingida, a partir daí ele começa a recuar até a posição final, quando o equipamento está completamente carregado. Para o descarregamento, a porta é levantada pelos cilindros de levantamento e o movimento inverso é realizado, ejetando todos os resíduos sólidos para fora do equipamento.

- **Cilindro ejetor** – Cilindro telescópico hidráulico que é responsável pelo movimento do painel ejetor, com uma extremidade fixa no assoalho da caçamba, e outra acoplada no painel ejetor
- **Comando dianteiro** – Os comandos são conjuntos de válvulas responsáveis por direcionar o fluxo de fluido hidráulico para os diversos atuadores (no caso dos coletores, os cilindros hidráulicos), o que permite levar a energia hidráulica gerada na bomba até os cilindros que são os responsáveis pela compactação do lixo. Em geral, os comandos possuem tamanhos diferentes e admitem diferentes vazões e pressões. O comando dianteiro do equipamento é o responsável pelo movimento dos cilindros de levantamento e do cilindro ejetor.

3.1.3 Porta

A porta é a estrutura por onde o equipamento é carregado, e que contém o mecanismo de compactação de lixo, os componentes da porta são:

- **Bacia de carga** – Popularmente conhecida como cocho, é o local onde os garis depositam o lixo.
- **Painel Compactador** – Estrutura de aço responsável por pressionar, junto com o painel transportador, os resíduos sólidos contra o painel ejetor.
- **Painel Transportador** – Estrutura de aço que carrega os resíduos da bacia de carga para a caçamba, e que “ajuda” o painel compactador a pressionar os resíduos contra o painel ejetor.
- **Cilindro Compactador** – Cilindro hidráulico de duplo efeito que é responsável pelo movimento do painel compactador. Geralmente possui uma extremidade fixa na porta e outra no painel compactador, fazendo o deslizar para cima e para baixo na pista de guia durante o ciclo de compactação.
- **Cilindro Transportador** – Cilindro hidráulico de duplo efeito, responsável pelo movimento do painel transportador. Geralmente possui uma extremidade fixa no painel compactador para acompanhar o movimento deste, e outra extremidade no painel transportador, fazendo o girar para que sirva como uma “garra” e transporte o lixo para o interior da caçamba.
- **Comando Traseiro** – É o conjunto de válvulas responsáveis pelo movimento dos cilindros transportador e compactador, e de possíveis acessórios do equipamento.

3.2 Funcionamento do equipamento

Após uma breve descrição dos principais componentes do equipamento, pode-se expandir a visão do mecanismo de funcionamento que foi apresentada no capítulo anterior. A coleta pode ser dividida em três fases, a carga, a compactação e a descarga. A carga é o processo de carregamento do equipamento, ou seja, o ato de colocar o lixo no coletor (com este parado). Quando o equipamento está carregado, o veículo é colocado em ponto morto e aciona-se pelo painel do veículo a tomada de força. Com esta ligada, acelera-se o veículo (geralmente os equipamentos possuem um botão de aceleração automática que proporciona a rotação correta ao motor) para que a rotação do motor seja transferida para a bomba, e a energia mecânica do motor seja convertida em energia hidráulica. A partir daí, aciona-se as alavancas do comando hidráulico traseiro, e este desvia o fluxo de óleo hidráulico para os cilindros compactador e transportador realizarem o ciclo da fase de compactação, representado na figura 3.4:

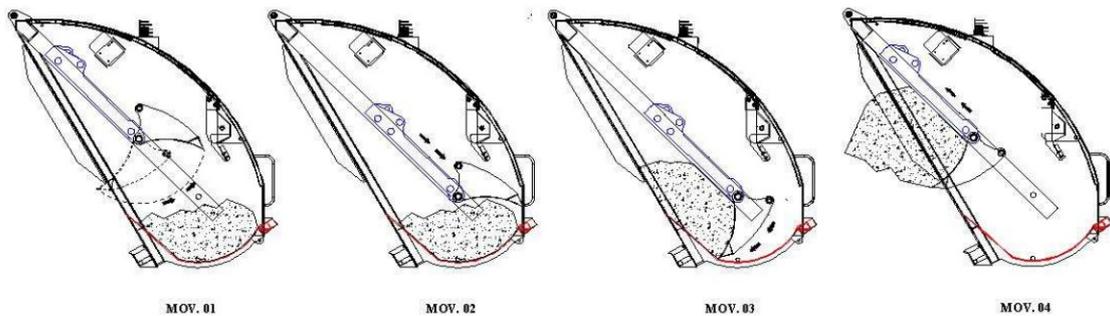


Figura 3.4: fases do ciclo de compactação [6]

1. Fase 1 - Os cilindros transportadores se fecham, fazendo com que o painel transportador volte para sua posição original.
2. Fase 2 - Os cilindros compactadores se fecham, movendo o painel compactador para baixo
3. Fase 3 - Os cilindros transportadores se abrem, fazendo com que o painel transportador gire entorno de seu eixo fixo e "transporte" os resíduos, funcionando como uma pá
4. Fase 4 - Os cilindros compactadores se abrem, movendo o painel compactador para cima e pressionando os resíduos contra o painel ejetor

Conforme a bacia de carga vai sendo preenchida de lixo e os ciclos de compactação vão sendo realizados, os resíduos sólidos vão sendo pressionados contra o painel ejetor, que está inicialmente posicionado o mais próximo possível da porta traseira.

Quando esta pressão no painel ejetor chega a pressão de compactação de projeto, o cilindro ejetor começa a se fechar até sua posição final, que é o mais próximo da cabine do chassi, essa posição determina o fim das fases de carga e compactação.

A fase final da coleta se dá na estação de transbordo, com o equipamento completamente carregado. Repete-se o procedimento para ligar a tomada de força para gerar energia hidráulica e aciona-se a alavanca do comando dianteiro relativa aos cilindros de levantamento. O fluxo de óleo hidráulico é desviado para estes cilindros e a porta é girada ao redor de sua conexão com a caçamba, expondo os resíduos dentro da caçamba. Com os cilindros de levantamento completamente abertos, aciona-se a alavanca do comando dianteiro relativa ao cilindro ejetor, este então volta a se abrir fazendo com que o painel ejetor se movimente no sentido de "expulsar" o lixo compactado do equipamento, conforme a figura 3.5



Figura 3.5: descarga de lixo no destino

3.3 Requisitos do projeto

3.3.1 Características do equipamento

De acordo com [1], algumas características básicas são necessárias para que o equipamento realize uma coleta efetiva, e portanto, neste trabalho o equipamento deverá apresentar:

1. Estanqueidade quanto ao vazamento de resíduos e chorume nas vias
2. Taxa de compactação dos RSU's de pelo menos 3:1

3. Altura de carregamento de no máximo 1,2 metros em relação ao solo (linha de cintura dos garis)
4. Sistema rápido de descarga do lixo no destino (no máximo 3 minutos)
5. Bacia de carga de no mínimo 1,5 m^3
6. Capacidade adequada de manobra (conforme sugerido no manual do chassi selecionado)
7. Distribuição adequada da carga no chassi do caminhão

O equipamento deverá também apresentar características vantajosas quanto a performance do ciclo de compactação e emissão de ruídos.

3.3.2 Missão

Em geral, as empresas que prestam o serviço de coleta de lixo, dimensionam o número de equipamentos necessários para atender determinada área urbana de acordo com as características dos equipamentos que possuem em suas garagens, ou de acordo com as características dos equipamentos que existem para aquisição no mercado. Pode-se afirmar que para a coleta ser efetuada, é necessário que:

1. O equipamento se desloque da garagem para o setor de coleta em um determinado "tempo de deslocamento 1"
2. O equipamento realize o percurso completo de coleta no setor analisado em um determinado "tempo de coleta"
3. O equipamento chegue completamente carregado na área de despejo, e retorne para área de coleta ou para a garagem, em um determinado "tempo de deslocamento 2"

Desta forma, pode se expressar cada um destes tempos como:

$$T_{Desloc1} = 2 \cdot \frac{D_g}{V_t} \quad (3.1)$$

$$T_{Coleta} = \frac{L}{V_c} \quad (3.2)$$

$$T_{Desloc2} = 2 \cdot \frac{D_d}{V_t} \quad (3.3)$$

Onde: D_g é distância a ser percorrida da garagem ao setor de coleta em km, V_t é a velocidade média do equipamento nas vias em km/h, L é o comprimento

do percurso completo de coleta em km, V_c é a velocidade média do equipamento coletando os RSU's nas vias em km/h e D_d é a distância entre a área de coleta e a área de despejo dos resíduos em km.

Por sua vez, o tempo total de coleta pode ser definido como:

$$T_{total} = T_{Desloc1} + (T_{Coleta} + T_{Desloc2})Qtd_{viagens} \quad (3.4)$$

Onde $Qtd_{viagens}$ é a quantidade de vezes que cada equipamento precisa ir à área de rejeição, ou seja, a razão entre a quantidade de lixo a ser coletada e a capacidade do equipamento.

$$Qtd_{viagens} = \frac{Q}{C} \quad (3.5)$$

Se dividirmos este T_{total} por uma jornada de trabalho diária J , chega-se ao número de frota necessário para realizar a tarefa, ou seja:

$$N_{coletores} = \frac{1}{J} \cdot \left(\frac{L}{V_c} + \frac{Q}{C} \left(\frac{2D_g}{V_t} + \frac{2D_d}{V_t} \right) \right) \quad (3.6)$$

Neste trabalho, a frota será fixada em 1 equipamento para uma área de coleta pré determinada, desta forma pode-se estabelecer uma capacidade C para o equipamento.

$$C = \frac{QV_c}{V_c J - L} \cdot \frac{2}{V_t} (D_g + D_d) \quad (3.7)$$

Os parâmetros de velocidade da equação (3.7), V_c e V_t , foram estimados através de observações de campo, os parâmetros de distância, D_g e D_d , foram medidos através da ferramenta *Google Maps* e a duração útil da jornada de trabalho foi definida em 8 horas (tabela 3.1). Além disso, o método para traçar o roteiro de coleta, foi o dito "heurístico" conforme [1], tentando minimizar os percursos improdutivos e evitando manobras a esquerda em vias de mão dupla. Tendo em vista o tamanho do equipamento a ser utilizado, alguns logradouros ou parte deles tiveram que ser desconsiderados, e o roteiro está descrito na tabela 3.2.

Tabela 3.1: Parâmetros de coleta

Parâmetro	Valor
V_c	4 km/h
V_t	30 km/h
D_g	5 km
D_d	33 km

Assumindo que a densidade demográfica desta região é homogênea, pode-se es-

timar que aproximadamente 67% do lixo gerado em toda a região será coletado (trecho considerado/trecho total). De acordo com censo 2010 do IBGE [7], esta região possui 24057 habitantes, e baseado em [1], a geração per capita de RSU's no Brasil é de 0,65 kg/habitante/dia. Ainda de acordo com [1], é recomendado que a coleta de determinada região seja realizada pelo menos de 3 em 3 dias, sendo assim, a quantidade de lixo que o equipamento terá de coletar nessa região em um dia de coleta será:

$$Q = 24057 * 0,65 * 0,67 * 3 = 31541kg \quad (3.8)$$

Dividindo este valor pelo peso específico do lixo compactado no Brasil conforme o capítulo 2 ($200kg/m^3$ para o lixo solto, com taxa de compactação de 3 para 1, aproximadamente $600kg/m^3$) obtém-se o volume total de lixo a ser carregado em um dia de coleta nesta região:

$$Q = \frac{31541}{600} = 52,57m^3 \quad (3.9)$$

Substituindo os valores das tabelas 3.1 e 3.2, e da equação 3.9 em 3.7, obtém-se $C = 17,52m^3$, porém, devido à variação de peso específico aparente, e à imprecisão da geração per capita, recomenda-se usar um valor 10% maior, logo:

$$C = 19,47m^3 \quad (3.10)$$

Tabela 3.2: roteiro de coleta

Trecho de coleta	Distância (m)
Rua Andrade Pertence	250
Rua Artur Bernardes	250
Rua Bento Lisboa	650
Rua Correa Dutra	550
Rua do Catete	750
Rua 2 de dezembro	550
Rua Pedro Américo	300
Rua Silveira Martins	650
Rua Ferreira Viana	300
Largo do Machado	170
Buarque de Macedo	300
TOTAL	4720

Tabela 3.3: Trechos desconsiderados do bairro do Catete

trechos desconsiderados	distância (m)
Rua Pedro Américo	900
Rua Tavares Bastos	1400
TOTAL	2300

3.4 Seleção do chassi

Uma importante parte do projeto do coletor é a seleção do chassi onde o equipamento será montado. Inúmeros fatores técnicos e pessoais (preferências de utilização) devem ser levados em conta, sendo alguns imprescindíveis, como:

1. Peso bruto total (PBT) admissível
2. Distribuição de carga nos eixos
3. Distância entre eixos
4. Motor e caixa de marcha
5. Centro de gravidade

Para que seja possível analisar cada item acima, é importante definir alguns parâmetros antes, conforme indicado no diagrama da figura 3.6, são eles:

- LA - Linha de apoio. É a medida em que o equipamento se apoia no chassi ($LA=BT+K+EE-A$)
- ED - Eixo dianteiro
- ET - Eixo traseiro, em caso de veículos com 3º eixo, o ET será o motriz
- EE - Distância entre eixos. É a distância entre ED e ET
- BT - Balanço traseiro. É a distância do eixo mais afastado da dianteira do veículo até o final do chassi
- K - Distância entre o eixo traseiro e o 3º eixo quando aplicável
- A - Afastamento, distância entre o ED e o início do coletor
- CG - Centro de gravidade do conjunto (chassi + coletor) medido a partir do eixo dianteiro
- FD - Força no eixo dianteiro
- FT - Força no eixo traseiro

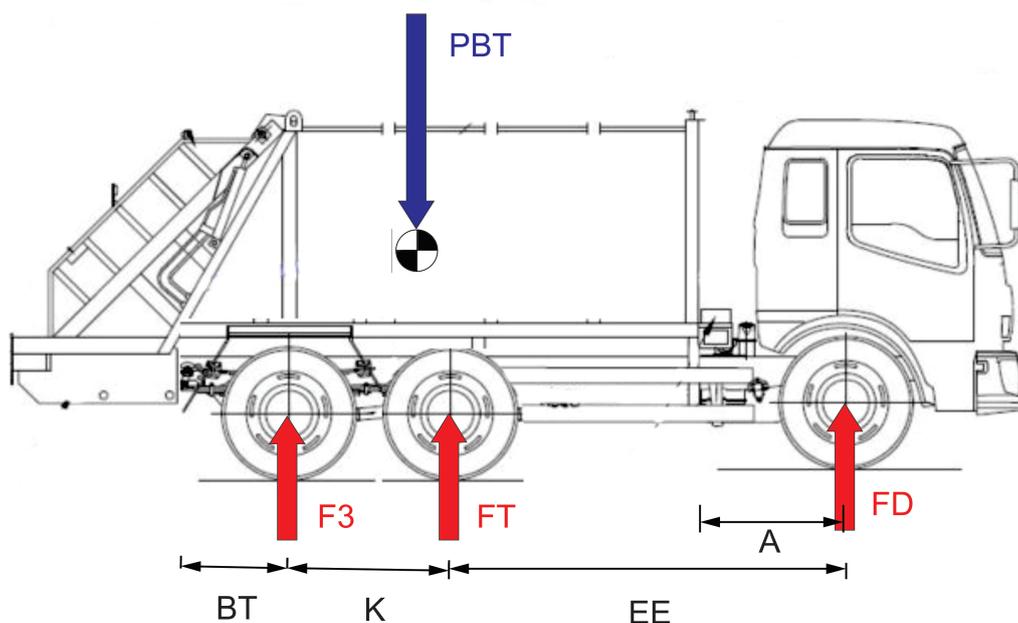


Figura 3.6: Diagrama Chassi

3.4.1 Peso bruto total

O peso bruto total é sem dúvidas o primeiro fator a ser analisado na seleção do chassi do equipamento, só sendo possível montar o coletor em um chassi que aguarde os esforços solicitados. O PBT da montagem foi estimado através de uma pesquisa com os principais fabricantes de compactadores de lixo de capacidade $19m^3$, conforme a tabela 3.4 explicita, e fica claro que o PBT mínimo do chassi selecionado deve ser 23 toneladas.

Tabela 3.4: Principais compactadores do mercado

Empresa	Modelo	Capacidade (m^3)	PBTmin chassi (ton)
Usimeca	Brutus	19	23
Usimeca	Alpha	19	23
Planalto	Magnum	19	23
Planalto	Ecolix	19	23

Duas montadoras de chassi possuem em sua linha de produtos um chassi especial para a coleta de lixo, que possuem características favoráveis à montagem e utilização do equipamento. A linha Compactor da montadora *Volkswagen* e a linha Kolector da montadora *Ford* foram desenvolvidas para atender necessidades especiais do segmento de coleta de lixo e garantem elevado índice de produtividade, alta disponibilidade, baixo custo operacional, agilidade em centros urbanos, escapamento na vertical (reduz o espaço ocupado pelo escapamento no chassi) entre outros itens especiais para a coleta de lixo. Todavia, estes chassis possuem PBT máximo

padrão de 17 toneladas, o que faz com que seja necessário a solicitação de um 3º eixo (chassi 6x2), que "disponibiliza" 6 toneladas a mais no PBT segundo a norma do CONTRAN [8] (para conjunto de eixos isolado de rodagem simples) e garante as 23 toneladas especificadas. Neste trabalho, os chassis avaliados serão da montadora Volkswagen, devido ao vasto e claro material disponível na rede. A figura 3.7 ilustra diferentes classificações de chassi quanto ao número de eixos.

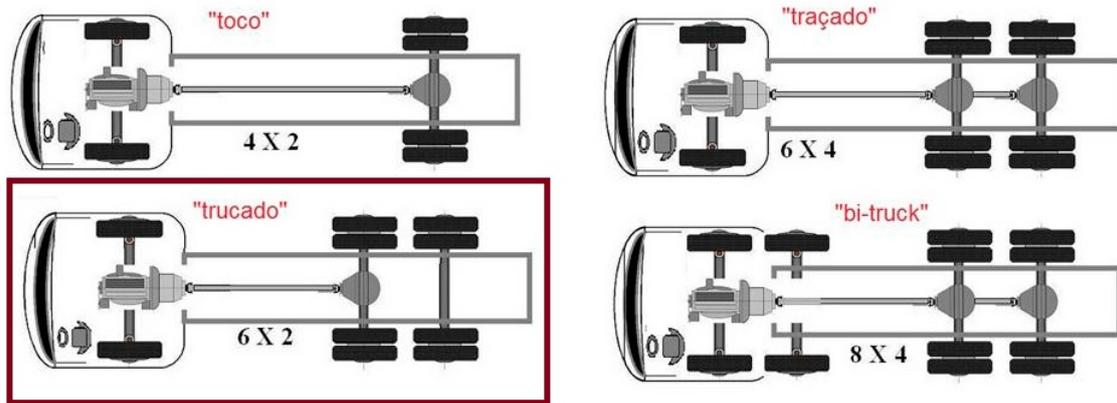


Figura 3.7: Nomenclaturas de chassis por número de eixos

É importante ressaltar que algumas opções de chassis com PBT original de 23 toneladas estão disponíveis nas linhas de produtos tradicionais das montadoras, entretanto, estes possuem características desfavoráveis a implementação do compactador de lixo. Em geral, os chassis com PBT 23 toneladas e dois eixos motrizes (6x4) possuem suspensão em tandem, que são maiores que as suspensões não tandem de feixe de molas curta (figura 3.8) e portanto aumentam o balanço traseiro do veículo, jogando o CG da montagem para trás e piorando a distribuição de carga nos eixos (uma análise mais detalhada será apresentada na seção subsequente). Já os veículos de 23 toneladas com um eixo motriz (6x2) apresentam o eixo motriz localizado entre o terceiro eixo (a traseira) e o eixo dianteiro, o que gera o mesmo problema de distribuição de carga citado. Em suma, é favorável que o chassis apresente seu último eixo como o motriz, com suspensão não tandem de mola curta.

3.4.2 Distribuição de carga nos eixos

Independente da montadora de chassis escolhida, todas exigem em seu manual de implementação, valores para a distribuição da carga total (PBT) entre os eixos do veículo, principalmente uma porcentagem mínima da carga total sobre o eixo dianteiro. Segundo [9], durante a concepção dos equipamentos, é necessário evitar carregamentos na parte traseira, pois a concentração de carga na traseira do veículo impossibilita a transferência das forças de direção e frenagem necessárias para uma segura condução do veículo. Sendo assim, a carga admissível sobre o eixo dianteiro

não deve ser excedida e ao mesmo tempo deve representar um valor mínimo da carga total. Esta porcentagem do PBT no eixo dianteiro é comumente chamada de aderência, e estes cálculos serão apresentados após o completo dimensionamento e modelagem do equipamento no final deste trabalho.



Figura 3.8: Suspensões de eixos

3.4.3 Motor e caixa de marchas

Os catálogos dos fabricantes de coletores de lixo não aconselham chassis com motores que possuam menos que 210 HP de potência. Qualquer chassis que ofereça uma potência maior que 210 HP consegue facilmente realizar o funcionamento correto do equipamento. Já a caixa de marchas, pode ser selecionada por critérios pessoais, como a preferência por fabricantes ou valores de mercado de caixas automáticas e manuais, todavia, neste trabalho, o objetivo será simplificar o processo de preparação do chassis para que este possa receber o implemento com o mínimo de modificações de fábrica. Portanto, a caixa de marchas selecionada foi a do fabricante EATON, modelo FS 6406-A, visto que o chassis da linha compactor da Volkswagen tem a opção de vir com tomada de força instalada de fábrica acoplada a esta caixa de marcha.

3.4.4 Distância entre eixos

Em geral, para coletores de lixo, seleciona-se a distância entre eixos que propicia um aspecto mais "compacto" ao coletor, ou seja, aquela distância que posiciona o implemento o mais próximo possível da cabine do chassis, conforme mostrado na figura 3.9, sendo este fator pouco decisivo na distribuição de carga nos eixos. De qualquer forma, segundo o catálogo da linha compactor, 2 chassis possuem PBT 17 toneladas e mais de 210HP de potência disponível no motor: o Worker 17.230 e o Constellation 17.260, com distâncias entre eixos disponíveis de fábrica: 3890mm, 4340mm, 4800mm, 4930mm. Para um coletor de capacidade $19m^3$, a montadora sugere uma distância entre eixos de 4800mm, pois com um valor menor que este, o veículo deveria ser demasiadamente alto.

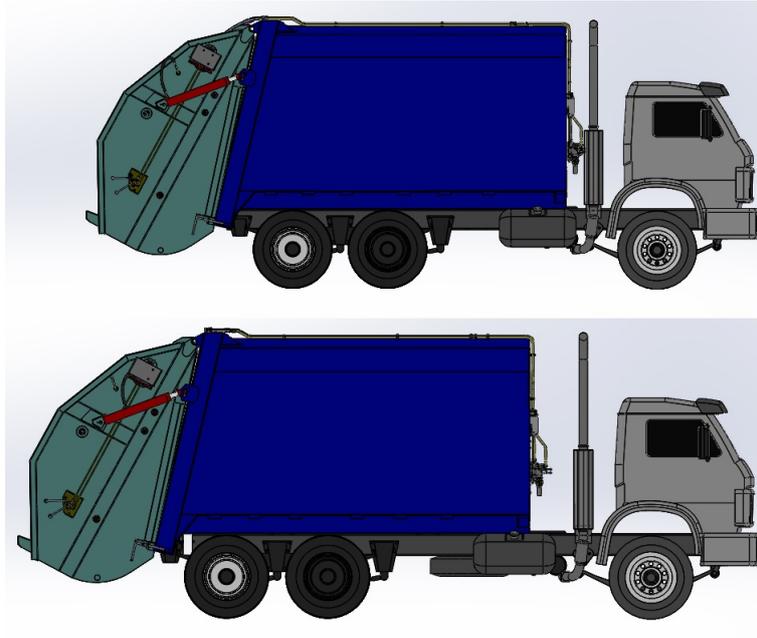


Figura 3.9: Diferentes valores de entre eixos

Levando-se em conta as características citadas e outras como o preço, o chassi selecionado para este trabalho é o Worker 17.230 (figura 3.10), com distância entre eixos de 4800mm e caixa de marchas EATON FS 6406-A. O manual [10], contém algumas especificações técnicas do modelo, assim como os desenhos deste chassi.



Figura 3.10: Chassi selecionado

3.5 Dimensões gerais do coletor

Após definir a capacidade do coletor e o chassi onde o implemento será montado, uma primeira estimativa das dimensões gerais do coletor pode ser realizada. Primeiramente, o coletor será aproximado por dois paralelepípedos para que seja possível definir as três dimensões características da caçamba e da porta. Sabe-se que a capacidade do coletor no entanto é consideravelmente menor, devido ao volume morto atrás do painel ejetor, das espessuras de chapa entre outras características da caçamba, e portanto, para que a estimativa seja razoável, uma pesquisa deste chamado "volume teórico" de alguns coletores de $19m^3$ presentes no mercado foi realizada e está presente na tabela(3.5). Fica claro que a caçamba deve apresentar um volume teórico médio de $27,4m^3$ e a bacia de carga da porta, como indicado nos requisitos de projeto, deve ter mais que $1,5m^3$, logo, também será estimado 40% maior, ou seja, com $2,1m^3$.

Tabela 3.5: Dimensões características de caçambas em mm

Dimensão	McNeillus M2	Usimeca Brutus	Usimeca Delta
Linha de apoio - LA	5486	4550	4550
Largura - LC	2032	2450	2460
Altura - AC	2438	2430	2490
Volume teórico(m^3)	27,18	27,09	27,87

Inicialmente, a largura do coletor pode ser definida como a mesma largura da cabine do chassi L1 da figura (3.12), o que garantiria o equipamento dentro dos limites da norma e traria uma aparência equilibrada e aerodinâmica ao equipamento.

$$LC = L1 = 320 + 1836 = 2,2m \quad (3.11)$$

A linha de apoio da caçamba do equipamento também pode ser estimada a partir dos desenhos do chassi disponibilizado pela Volkswagen, considerando as medidas L2, L3 e L4 representadas na figura (3.12). É importante observar que a dimensão L4 vai até onde termina a fixação do feixe de molas na longarina do chassi, que será cortada (conforme o manual da montadora) para que o balanço traseiro seja o menor possível.

$$LA = L3 + L4 - L2 = 4,6m \quad (3.12)$$

Para que seja alcançado o volume teórico de $27,3m^3$, a altura pode ser definida como:

$$AC = \frac{\text{Volume teorico da caçamba}}{LA.LC} = 2,7m \quad (3.13)$$

Já a porta, terá mesma largura $L1$ da cabine e da caçamba.

$$L1 = LC = LP \quad (3.14)$$

Porém, a altura da porta será a soma da altura da caçamba AC com a altura da bacia de carga AP . Esta altura estimada em 0,5m, para que o ponto mais baixo do coletor esteja acima do ponto mais baixo da cabine do chassi, evitando impactos em lombadas ou irregularidades na pista. Deste modo, o comprimento da porta CP pode ser calculado através do volume teórico da bacia de carga, e as primeiras estimativas das dimensões do coletor estão resumidas na figura (3.11).

$$CP = \frac{\text{Volume teórico da porta}}{LP \cdot AP} = 1900 \quad (3.15)$$

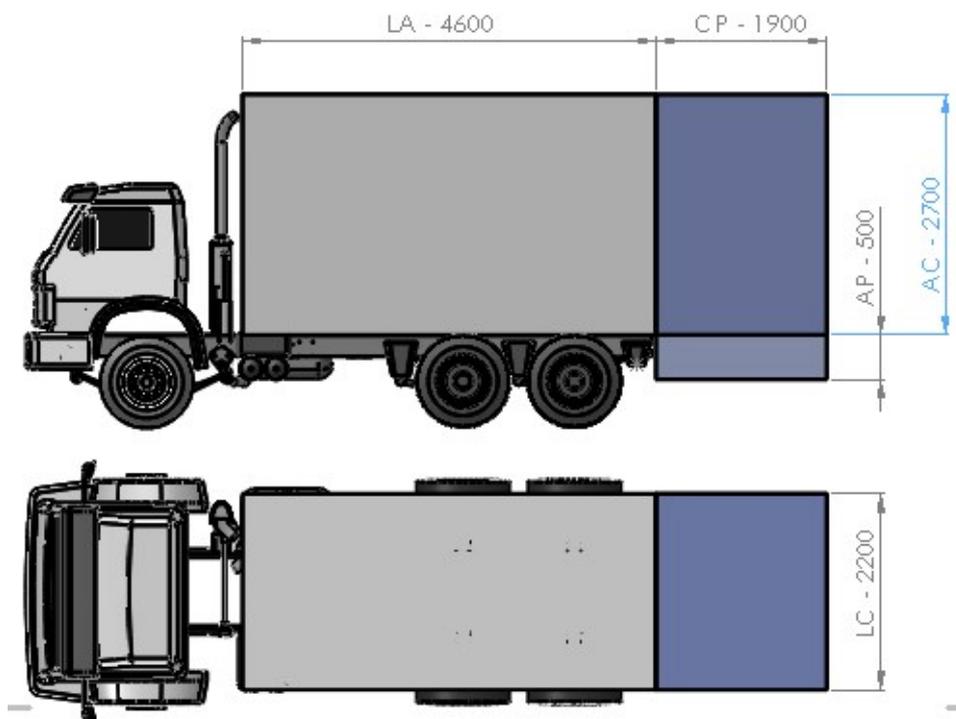


Figura 3.11: Dimensões gerais em mm

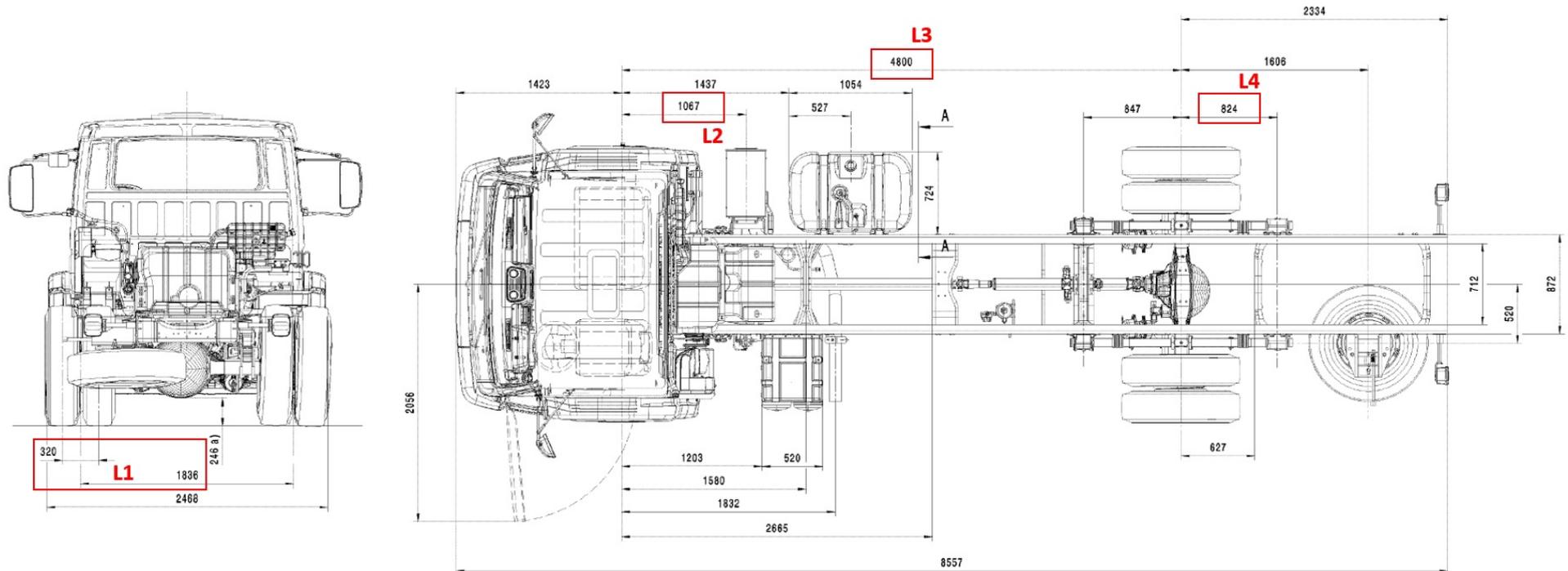


Figura 3.12: Estimativas iniciais

Capítulo 4

Hidráulica

Hidráulica é a ciência que estuda líquidos em escoamento sob pressão [11]. Neste trabalho, será abordada a óleo-hidráulica, área da hidráulica que utiliza o óleo como fluido.

4.1 Sistemas hidráulicos

Atualmente, uma infinidade de circuitos hidráulicos estão presentes no nosso dia a dia, com diferentes aplicações e de diferentes tipos. Entretanto, todos seguem um mesmo padrão, sendo divididos em três grupos principais (figura 4.1):

- Sistema de geração - Grupo que inclui o reservatório do fluido, filtros, bombas, motores, intensificadores de pressão, acumuladores entre outros acessórios.
- Sistema de distribuição e controle - São as válvulas que controlam vazão, pressão e direção do fluido.
- Sistema de aplicação de energia - Estes são os atuadores hidráulicos, podem ser os cilindros, os motores hidráulicos, os osciladores e etc.



Figura 4.1: Esquema de um sistema hidráulico - Fonte [11]

4.2 Princípio de Pascal

Assim como todos os equipamentos hidráulicos, o compactador de lixo sob chassi funciona baseado no princípio de Pascal, também definido como o princípio fundamental da hidráulica. Este princípio afirma que toda a pressão aplicada sobre um fluido confinado em um recipiente fechado, age igualmente em todas as direções dentro da massa do fluido e perpendicularmente às paredes do recipiente. Provando este princípio, Pascal percebeu que conectando dois cilindros de diâmetros diferentes, uma pequena força no cilindro menor, poderia acarretar em uma grande força no cilindro maior. Por exemplo, como visto na figura 4.2, pode-se escrever:

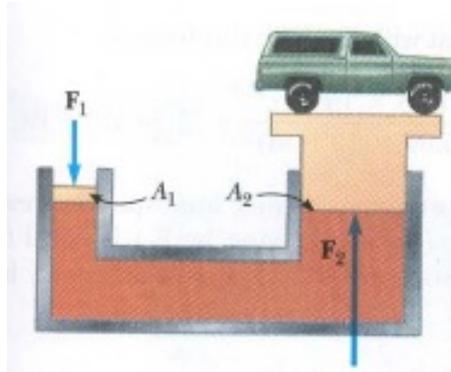


Figura 4.2: Princípio de Pascal

$$P = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (4.1)$$

Da mesma forma, pela conservação de massa, a massa deslocada de fluido em ambos os cilindros deverá ser a mesma. Então, considerando que os êmbolos se movem em um comprimento L_1 e L_2 , tem-se:

$$m = \rho V = \rho A_1 L_1 = \rho A_2 L_2 \quad (4.2)$$

Sendo V o volume do fluido deslocado, m a massa, e ρ a densidade deste fluido. Isto evidencia que o deslocamento no cilindro pequeno deve ser muito maior do que o deslocamento no cilindro grande.

4.3 Escoamento em tubulações

A mecânica dos fluidos dos meios contínuos pode ser classificada de acordo com características importantes do escoamento [12] (figura4.3).

No que diz respeito a escoamentos internos (no interior de tubulações) existem basicamente dois tipos de escoamento, o laminar e o turbulento. Diversos fatores

determinam o tipo de escoamento que o fluido está submetido, entre eles, a rugosidade da tubulação, a viscosidade do fluido, a velocidade de escoamento e etc [11]. Para determinar se o escoamento é laminar ou turbulento, define-se o número de Reynolds, que é dado pela razão do produto da velocidade do fluido com o diâmetro do duto pela viscosidade cinemática. Ou seja:

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (4.3)$$

Para escoamentos onde o número de Reynolds encontra-se entre 0 e 2000 o escoamento é classificado como laminar, caso seja superior a 3000 o escoamento é dito como turbulento. A faixa de valores entre 2000 e 3000 é incerta. O mais apropriado para circuito óleo hidráulicos é que o regime não seja turbulento, pois nesse tipo de escoamento as perdas de pressão são mais evidentes.

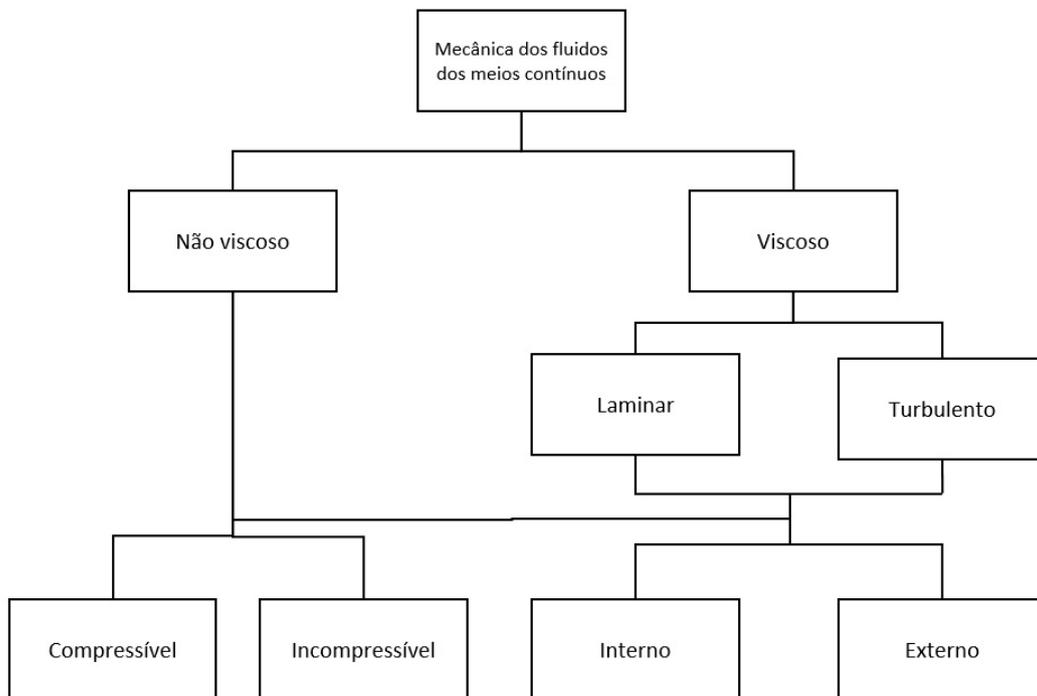


Figura 4.3: Classificação da mecânica dos fluidos dos meios contínuos - Fonte [12]

4.4 Atuadores hidráulicos

Os atuadores hidráulicos capazes de transformar energia hidráulica de um fluido em energia mecânica são os cilindros hidráulicos. Estes são compostos basicamente de três peças: a camisa que é um cilindro metálico oco onde circula o fluido hidráulico, um êmbolo móvel que recebe a pressão proveniente do fluido e a haste conectada ao êmbolo. Os cilindros hidráulicos podem ser classificados quanto ao seu

funcionamento (simples ou dupla ação) ou quanto à sua construção (haste simples, dupla ou telescópica).

- Simples ação - O cilindro exerce força em apenas um sentido, e portanto, o retorno é realizado por alguma força externa.
- Dupla ação - O cilindro exerce força em ambos os sentidos, avanço e retorno.
- haste simples - O cilindro contém uma única haste que é montada em um dos lados do êmbolo.
- haste dupla - O cilindro contém duas hastes montadas em faces opostas do êmbolo.
- haste telescópica - O cilindro contém diversas hastes ocas de diferentes diâmetros, o que permite grandes deslocamentos.

A ABNT 8897 padroniza a simbologia para uma representação esquemática de cada cilindro, conforme a figura 4.4.

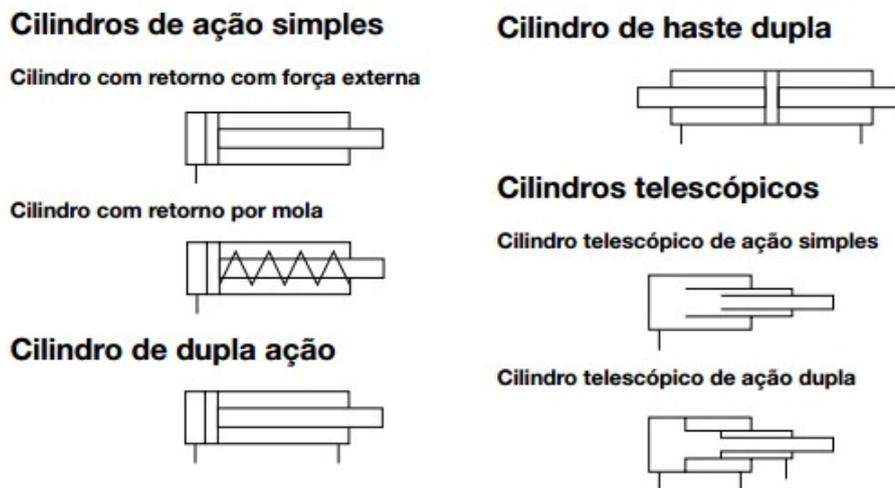


Figura 4.4: Simbologia de cilindros

Os cilindros hidráulicos podem ser montados de diversas formas dependendo de sua aplicação, como por exemplo montagem por munhão, por flange, por sapatas laterais entre outras.

Para o devido funcionamento do equipamento, é preciso que os cilindros Compactadores e transportadores sejam de haste simples e de duplo efeito, para que seja possível o controle total do ciclo de compactação, e portanto, das posições dos painéis que serão movimentados por estes. Já o cilindro de levantamento da porta, poderá ser de haste simples e de simples efeito, uma vez que para fechar a porta,

basta que o peso desta realize a força necessária para o retorno do cilindro. Finalmente, o cilindro Ejetor, precisa resistir a força do lixo até o valor da força de compactação e também realizar força no sentido de ejetar o lixo da caçamba. Como o percurso da caçamba é longo (aproximadamente 4,6m) o cilindro telescópico é o mais apropriado.

4.4.1 Cilindros Compactadores

Conforme dito na seção, 3.3, é preciso que o compactador seja capaz de compactar os RSU's em uma taxa de 3:1, e para isso, é necessário que o painel transportador exerça uma pressão de aproximadamente $3\text{kg}/\text{cm}^2$ [1], ou seja, 294600Pa . Sabendo que o painel transportador tem dimensões parecidas com a largura da porta e a altura da bacia de carga, pode-se definir inicialmente a área do painel em contato com o lixo como:

$$A_{Transp} = L_{Transp} \cdot ALT_{Transp} = 2 * 0,55 = 1,1\text{m}^2 \quad (4.4)$$

Considerando que a pressão que o lixo exerce no painel transportador, será a reação à força exercida pelos cilindros compactadores (conforme a figura 4.5), e que na fase de compactação o vetor normal à área do painel transportador e a pista de guia estão aproximadamente paralelos, calcula-se:

$$F_{Lixo} = P_{Lixo} \cdot A_{Transp} = 294600 * 1,1 = 324060\text{N} \quad (4.5)$$

Para encontrar a força em cada cilindro compactador que gera esta força F_{lixo} requerida, é necessário encontrar os ângulos que estes cilindros formam com o curso do painel compactador (figura 4.6). Sabendo que quanto maior o ângulo φ , maior a componente da força do cilindro na pista de guia do equipamento (componente não útil), estima-se que o ângulo φ deva ser menor que 30° , porém, um ângulo muito menor que este poderia acarretar em dificuldades na montagem do equipamento. Sendo \overline{BA} o curso total do painel compactador (será utilizado 800mm como valor típico), $\overline{O_1B}$ o comprimento do cilindro fechado e $\overline{O_1A}$ o comprimento do cilindro aberto, uma simulação foi realizada com diversos comprimentos dos cilindros do catálogo do fornecedor [13], visando garantir um valor de φ de aproximadamente 30° através da lei dos cossenos.

$$\overline{O_1B}^2 = \overline{O_1A}^2 + \overline{BA}^2 - 2 \cdot \overline{O_1A} \cdot \overline{BA} \cdot \cos(\varphi) \quad (4.6)$$

Os resultados estão disponíveis na tabela 4.1, e definido o valor do ângulo φ , o valor do ângulo inicial β pode ser encontrado também pela lei dos cossenos:

Tabela 4.1: Escolha do curso do cilindro compactador

Comprimentos dos cilindros				
fechado (pol)	Aberto (pol)	fechado (mm)	Aberto (mm)	$\varphi(^{\circ})$
16	20	406	508	25,62
18	24	457	610	34,63
20	28	508	711	38,73
22	32	559	813	40,53
24	36	610	914	40,98
26	40	660	1016	40,50
28	44	711	1118	39,33
30	48	762	1219	37,59
32	52	813	1321	35,34
36	60	914	1524	29,30
40	68	1016	1727	20,35
42	72	1067	1829	13,40
44	76	1118	1930	-
48	84	1220	2134	-
52	92	1321	2339	-
60	108	1524	2743	-

$$\overline{O_1A}^2 = \overline{O_1B}^2 + \overline{BA}^2 - 2\overline{O_1B} \cdot \overline{BA} \cdot \cos(180 - \beta) \quad (4.7)$$

$$\beta = 180 - \arccos\left(\frac{\overline{BA}^2 + \overline{O_1B}^2 - \overline{O_1A}^2}{2 \cdot \overline{O_1B} \cdot \overline{BA}}\right) = 55^{\circ} \quad (4.8)$$

Com estes ângulos definidos, pode-se achar a força total nos cilindros compactadores. Considerando que os cilindros alcançarão a F_{Lixo} quando estiverem na metade de seu curso (ou seja, a um ângulo com a pista de guia $\frac{\beta + \varphi}{2}$), e que cada cilindro contribuirá com a mesma força, temos:

$$F_{compact} = \frac{F_{Lixo}}{2 \cdot \cos\left(\frac{\beta + \varphi}{2}\right)} = \frac{324060}{2 \cdot \cos\left(\frac{55 + 29}{2}\right)} = 218033N \quad (4.9)$$

Portanto, o cilindro deverá exercer uma força de pelo menos 218033 N para que seja possível efetuar a compactação do lixo em uma taxa de 3:1. Para selecionar o cilindro adequado, deve-se definir a pressão de trabalho do circuito hidráulico, e de acordo com [14], para uma aplicação no setor móbil (sistemas de transportes, guias, elevadores entre outros) geralmente seleciona-se numa faixa de 160 a 250 bar. Para este trabalho, a pressão de trabalho será definida em 180 bar, e assim, para o cilindro compactador tem-se:

$$A_{compact} > \frac{F_{compact}}{P_{trabalho}} = \frac{218033}{180 * 10^5} = 121,13cm^2 \quad (4.10)$$

$$A_{compact} = \frac{\pi \cdot D_{compact}^2}{4} \quad (4.11)$$

$$D_{compact} > 12,42cm = 4,89'' \quad (4.12)$$

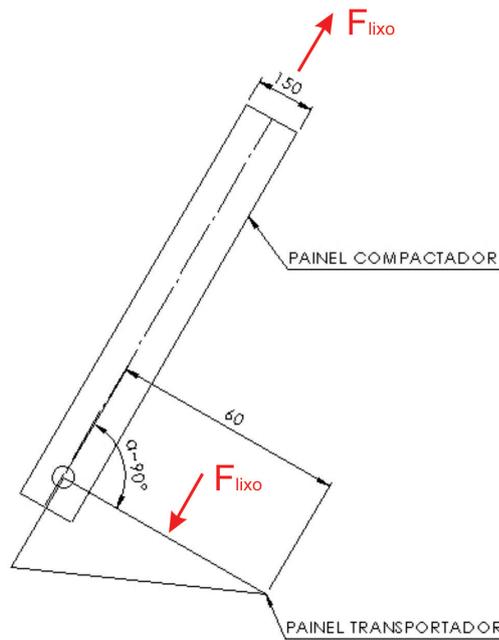


Figura 4.5: Força do lixo no painel transportador

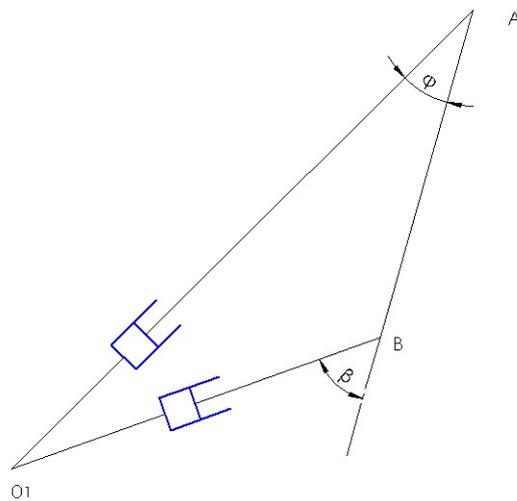
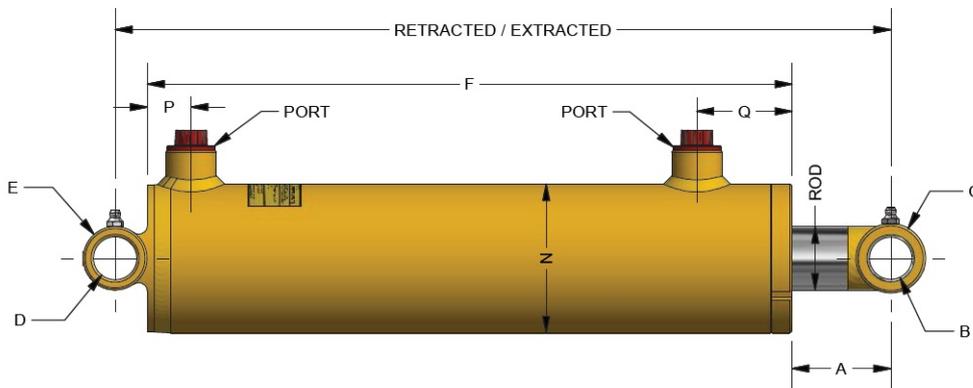


Figura 4.6: Movimento painel Compactador

Portanto, de acordo com a figura 4.7, o cilindro compactador selecionado possui

5" e curso de 24". Segundo [15], a partir destes valores pode-se definir o diâmetro da haste e o comprimento do tubo de parada, que é uma luva sólida que se fixa sobre a haste do pistão evitando que ocorra flexão quando a haste estiver estendida. A montagem será definida como articulada e guiada rigidamente pela pista de guia, então, de acordo com a figura 4.8, o fator de curso é 2,0. Utilizando a fórmula de [15]:

$$\text{comprimento básico} = \text{fator de curso} * \text{curso do cilindro} = 2 * 610 = 1220\text{mm} \quad (4.13)$$



*All dimensions are in inches

EAGLE Part No	BORE	ROD	A	C, E	B, D	J	L	N	P	Q
HBU15-	1.50	1.00	2.70	1.250	0.750	2.00	2.25	1,875	0.875	2.200
HBU20-	2.00	1.25	2.80	1.500	1.00	2.25	2.75	2.375	0.875	2.000
HBU25-	2.50	1.50	2.65	1.500	1.000	2.25	3.25	2.875	0.875	2.000
HBU30-	3.00	1.50	2.20	1.500	1.000	2.25	3.75	3.50	1.000	2.200
HBU35-	3.50	1.75	4.10	2.000	1.250	2.25	4.25	4.00	0.875	2.000
HBU40-	4.00	2.00	3.60	2.250	1.500	2.50	4.75	4.500	1.000	2.250
HBU50-	5.00	2.50	4.50	2.500	1.750	3.25	5.75	5.500	1.000	2.500

Figura 4.7: Cilindros disponíveis [13]

Recalculando força máxima exercida pelo cilindro:

$$F = \frac{P}{A} = \frac{180 * 10^5}{\pi \frac{0,127^2}{4}} = 228018N \quad (4.14)$$

E então, encontra-se na figura 4.9, o diâmetro da haste e o comprimento do tubo de parada.

Em suma, o cilindro compactador terá as seguintes características:

- Cilindro fechado - 36" ou 914 mm
- Cilindro aberto - 60" ou 1524 mm

- Curso do cilindro - 24" ou 610 mm
- Diâmetro do êmbolo - 5" ou 127 mm
- Diâmetro da haste - 3" ou 76 mm
- Comprimento do tubo de parada - 25 mm

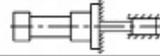
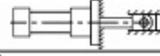
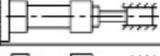
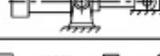
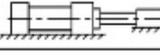
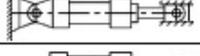
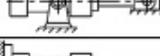
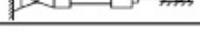
	Tipo de montagem	Tipo de fixação do cilindro	Fator de curso
Fixa e guiada rigidamente	TB, TD, C, J e JB		0,5
Articulada e guiada rigidamente	TB, TD, C, J e JB		0,7
Fixa e guiada rigidamente	TC, H e HB		1,0
Articulada e guiada rigidamente	D		1,0
Articulada e guiada rigidamente	TC, H, HB e DD		1,5
Suportada, porém não guiada rigidamente	TB, TD, C e J		2,0
Articulada e guiada rigidamente	BB, DB, SB, SBa e SBb		2,0
Articulada e suportada, porém não guiada rigidamente	DD		3,0
Fixa, porém não guiada rigidamente	TC, H e HB		4,0
Articulada, porém não guiada rigidamente	BB, DB, SB, SBa e SBb		4,0

Figura 4.8: Fator de curso e tipos de montagem [15]

4.4.2 Cilindros Transportadores

Por simplicidade, será adotado para os cilindros transportadores o mesmo curso dos compactadores e a partir disto, uma análise da movimentação do painel transportador pode ser feita, conforme a figura 4.10. Nesta, é importante definir alguns parâmetros:

- o Segmento $\overline{O_2C}$ representa segmento do painel compactador, desde o suporte do cilindro transportador, até o ponto de fixação do painel transportador (O_2).
- Os triângulos EO_2D e $E'O_2D'$ representam o painel compactador em suas posição inicial e final, respectivamente.
- Os segmentos \overline{CD} e $\overline{CD'}$ representam o cilindro transportador fechado e aberto respectivamente

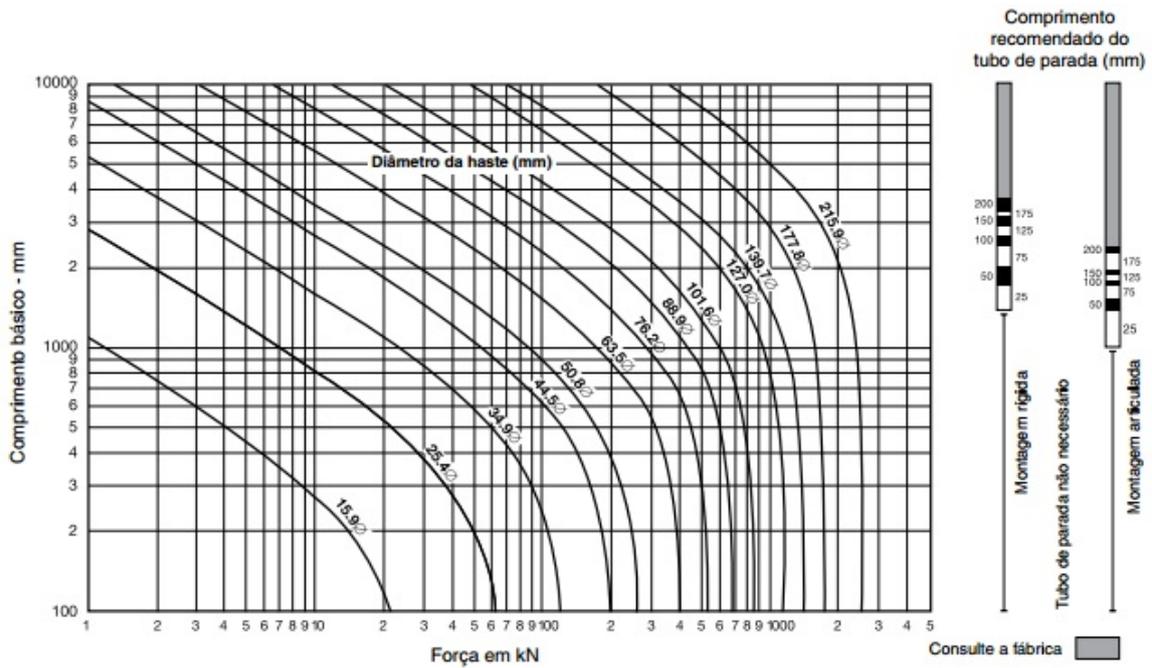


Figura 4.9: Diagrama diâmetro da haste e tubo de parada [15]

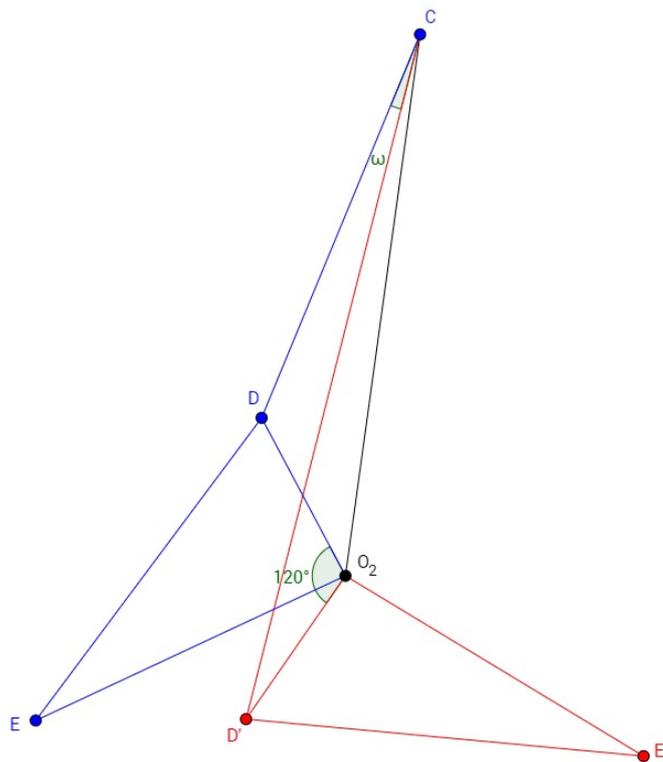


Figura 4.10: Movimentação do painel transportador

Para garantir que o painel transportador arraste o lixo desde o início da bacia de carga até a caçamba, pode-se definir que o painel transportador gire ao menos $1/3$ de círculo, ou seja, os ângulos $\widehat{D\hat{O}_2D'}$ e $\widehat{E\hat{O}_2E'}$ são de 120° . Como o painel

transportador é um componente rígido, sabe-se que $\overline{O_2D} = \overline{O_2D'}$ e pela lei dos cossenos no triângulo DO_2D' :

$$\overline{DD'}^2 = 2.\overline{O_2D}^2 - 2.\overline{O_2D}^2.\cos(120) = 3\overline{O_2D}^2 \quad (4.15)$$

Utilizando a lei dos cossenos outra vez, mas agora para o triângulo $DD'C$, obtém-se:

$$3\overline{O_2D}^2 = \overline{CD}^2 + \overline{CD'}^2 - 2.\overline{CD}.\overline{CD'}.\cos(\omega) \quad (4.16)$$

$$\omega = \arccos\left(\frac{3158703 - 3\overline{O_2D}^2}{2787091}\right) \quad (4.17)$$

Alguns valores de $\overline{O_2D}$, com intervalos de 100mm foram testados na equação 4.17 conforme a tabela 4.2 mostra. Para que o ponto D' não raspe no fundo da bacia de carga, o menor valor de $\overline{O_2D}$ possível foi selecionado, 400 mm (esta medida também será utilizada para o dimensionamento do painel compactador).

Tabela 4.2: Dimensão do braço do painel transportador

$\overline{O_2D}$ (mm)	ω
100	-
200	-
300	-
400	16
500	30
600	42

Para encontrar a força que o cilindro transportador terá que realizar, é preciso fazer uma análise de força mais detalhada do que aquela apresentada na figura 4.5. Considerando agora um ângulo θ entre a $F_{LixoReal}$ e a força perpendicular à área do painel transportador ($F_{painelT}$), no instante em que o lixo está sendo compactado sabe-se que no equilíbrio, de acordo com a figura 4.11:

$$\sum M_{O_2} = F_{LixoReal}.\cos(\theta).\frac{L_{Transp}}{2} - F_{Transp}.\sen(\varepsilon).\overline{O_2D} = 0 \quad (4.18)$$

Sendo $F_{LixoReal}$, o maior valor da força realizada pelo cilindro compactador na direção da pista de guia, ou seja:

$$F_{LixoReal} = P_{Trabalho}.A_{compact} = 180.10^5\left(\frac{\pi(5 * 25,4)}{4}\right) = 199429N \quad (4.19)$$

Combinando as equações 4.18 e 4.19, além dos valores conhecidos ($\overline{O_2D} =$

400mm, $L_{Transp} = 600mm$):

$$F_{Transp} = \frac{199429 * 300 * \cos(\theta)}{400 * \sin(\varepsilon)} = 149572 * \frac{\cos(\theta)}{\sin(\varepsilon)} \quad (4.20)$$

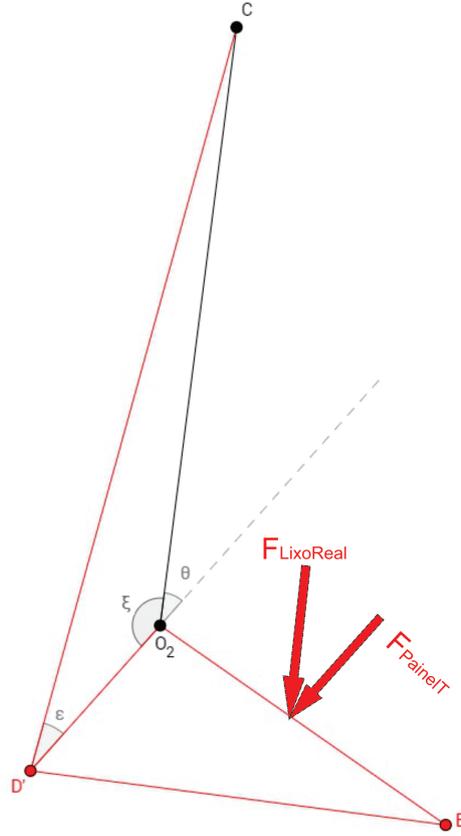


Figura 4.11: forças no painel transportador

Por sua vez, θ e ε também podem ser determinados através da lei dos cossenos no triângulo $D'O_2C$, que resulta em uma equação que varia somente com a distância entre a fixação do cilindro transportador C , e a fixação dos painéis O_2 :

$$F_{Transp} = 149572 * \frac{\cos(180 - \arccos(\frac{\overline{O_2C}^2 - 2162576}{800 * \overline{O_2C}}))}{\sin(\arccos(\frac{2482576 - \overline{O_2C}^2}{1219200}))} \quad (4.21)$$

Para definir uma distância O_2 aceitável em aspectos construtivos, analisou-se a F_{Transp} máxima de 3 cilindros presentes no catálogo [13] e seus parâmetros O_2 , θ e ε relativos, sendo que, diferentemente dos cilindros compactadores, a pressão de trabalho no sentido de avanço do cilindro compactador será de 230 bar, que é uma forma de garantir que o cilindro realize uma força maior e não retorne devido ao momento gerado pela pressão do lixo no painel transportador. Os resultados estão na tabela 4.3.

Tabela 4.3: Seleção do cilindro transportador

Diâmetro do Cilindro (pol)	Força Máxima (N)	$\overline{O_2C}_{minimo}$ (mm)	$\theta(^{\circ})$	$\varepsilon(^{\circ})$
4	186468	1215	45	34
4,5	235999	1192	39	29
5	291357	1174	33	25

Por proporcionar um comprimento de painel compactador menor, o que agrega menos peso para o equipamento, além de ângulos θ e ε menores, que permitem um giro maior do painel transportador, o diâmetro selecionado para o cilindro transportador é o de 5", assim como os cilindros compactadores.

4.4.3 Cilindros de Levantamento

Toda a carga dos cilindros de levantamento é proveniente do peso da porta traseira e uma primeira estimativa da massa da porta pode ser feita a partir do PBT do chassi. Pode-se aproximar o peso do chassi Worker 17230 com terceiro eixo instalado, pelo peso do chassi Worker 23230 6x2 (6419Kg), pois estes tem características semelhantes. Portanto:

$$PBT = M_{Chassi} + M_{Coletor} + M_{Lixo} \quad (4.22)$$

A massa total do lixo com o compactador cheio pode ser estimada pela massa específica definida no capítulo anterior.

$$M_{Lixo} = C * \rho_{Lixo} = 19m^3 * 600 \frac{Kg}{m^3} = 11.400Kg \quad (4.23)$$

Voltando a equação 4.22:

$$M_{coletor} = 23.000 - 11.400 - 6.410 = 5.190Kg \quad (4.24)$$

Uma boa aproximação é considerar que 2/3 da massa do coletor é composta pela porta, uma vez que possui todo o sistema de compactação. Ou seja, a massa aproximada da porta é:

$$M_{Porta} = \frac{2}{3} * 5.500 = 3.500Kg \quad (4.25)$$

Sendo esta a massa da porta utilizada para o dimensionamento do cilindro de levantamento. A geometria do mecanismo de levantamento da porta será, em uma primeira análise, conforme a figura 4.12, sendo O o ponto de fixação da porta na caçamba, h_1 a distância do suporte da caçamba do cilindro até o teto da caçamba,

h_2 a distância do suporte da porta do cilindro até o topo da porta e $\overline{P_{f1}P_{f2}}$ é o comprimento do cilindro aberto. Visando simplificar este modelo, o CG e o centro geométrico da porta coincidem em um primeiro momento, e o suporte da caçamba do cilindro será fixado em $h_1 = 500\text{mm}$, pois a parte superior da caçamba apresentará um reforço em sua estrutura para resistir às reações do cilindro.

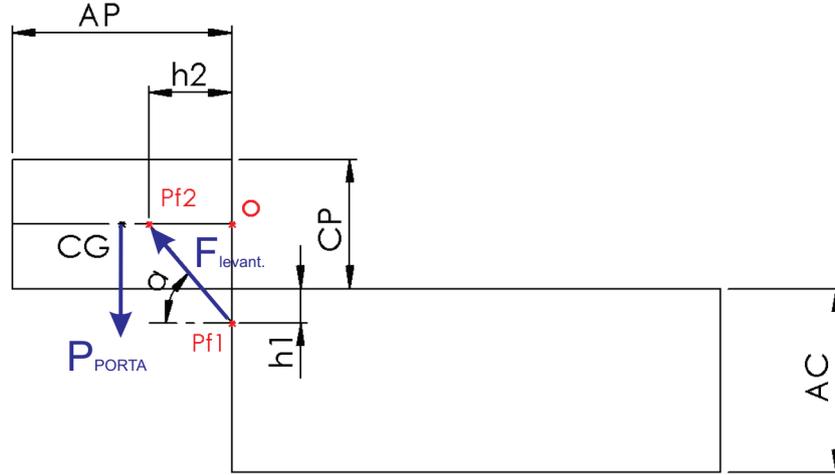


Figura 4.12: Levantamento da porta traseira

Para que estas condições de simplificação sejam atendidas, por pitágoras:

$$\overline{P_{f1}P_{f2}} = \left(h_1 + \frac{CP}{2}\right)^2 + h_2^2 \quad (4.26)$$

ou

$$h_2 = \sqrt{\overline{P_{f1}P_{f2}} - \left(h_1 + \frac{CP}{2}\right)^2} \quad (4.27)$$

Também pode ser feita uma análise desta posição da porta em equilíbrio, realizando o somatório de momentos no ponto O, lembrando que serão dois cilindros de levantamento:

$$\sum M_o = P_{Porta} \cdot \frac{AP}{2} + 2F_{levant.} \cdot \cos(\alpha) \cdot \frac{CP}{2} - 2F_{levant.} \cdot \sin(\alpha) \cdot h_2 = 0 \quad (4.28)$$

$$F_{levant} = \frac{P_{Porta} \cdot \frac{AP}{2}}{2h_2 \sin(\alpha) - 2 \frac{CP}{2} \cos(\alpha)} \quad (4.29)$$

Alguns cilindros do catálogo do [13] foram testados utilizando as equações 4.27 e 4.29 para definir sua força máxima, e seu diâmetro mínimo. Os resultados estão indicados na tabela 4.4, e o diâmetro da haste será 10% maior que o mínimo sugerido,

visto que algumas mudanças pequenas na geometria ocorrerão durante a modelagem detalhada do equipamento, então, o diâmetro selecionado é 3,5”.

Tabela 4.4: Seleção do Cilindro de Levantamento

Cil.Aberto (pol)	curso (mm)	h2 (mm)	alpha (°)	Fmax (N)	Dmin (pol)
58,25	610	294	79	289651	5,64
62,25	660	631	66	144447	3,98
66,25	711	854	60	113510	3,53
70,25	762	1040	54	98835	3,29
74,25	813	1206	50	90080	3,14
78,25	864	1359	47	84219	3,04
82,25	914	1504	44	80010	2,96

4.4.4 Cilindro Ejetor

O Cilindro Ejetor, como foi dito, será o único cilindro telescópico de duplo efeito. Para a seleção deste cilindro, segundo o catálogo do fabricante Parker [16] é preciso definir primeiro seu comprimento aberto aproximado. Utilizando-se dos cálculos da seção anterior e considerando que o cilindro será fixado aproximadamente no centro do painel ejetor, além de uma margem de 600mm no comprimento estimado da caçamba, temos conforme a figura 4.13:

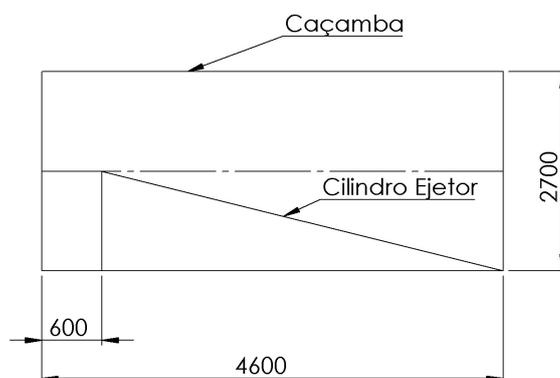


Figura 4.13: Dimensionamento do Cilindro Ejetor

$$CA^2 = 4000^2 + 1350^2 = 4220mm \text{ ou } 166'' \quad (4.30)$$

Atualmente no mercado, praticamente todos os compactadores de lixo de 19m³ de capacidade possuem o cilindro ejetor de 4 estágios, o que será realizado neste trabalho. A figura 4.14 do catálogo [16] fornece fórmulas para o cálculo do comprimento fechado de diversos cilindros de 4 estágios de simples efeito (será utilizado

aqui o mesmo cálculo para duplo efeito), dependendo do curso adotado e do modelo selecionado. Como o curso deverá ser maior que 100", a fórmula utilizada será:

$$L_c = \frac{Curso}{4} + X_1 + X_2 \quad (4.31)$$

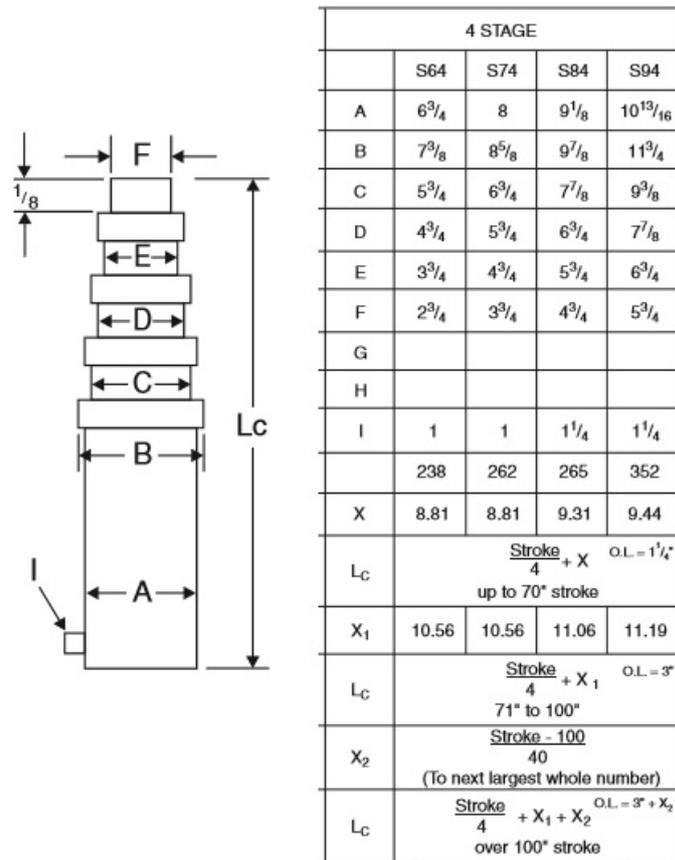


Figura 4.14: Comprimento fechado do cilindro telescópico pelo catálogo Parker

Sendo X_1 uma constante relativa ao diâmetro do cilindro selecionado e X_2 o maior inteiro maior que $\frac{curso - 100}{40}$. A tabela 4.5 foi construída para 3 valores diferentes de curso e utilizando uma média dos comprimentos fechados encontrados para cada modelo, sendo assim, o valor que mais se aproxima das 166" de comprimento total do cilindro definido anteriormente, é para curso de 125" e que resulta em um comprimento fechado de aproximadamente 42".

Também é importante restringir o ângulo formado entre o cilindro fechado e o fundo da caçamba, para que seja possível ejetar o lixo no final da coleta sem sobrecarregar o cilindro. Escolhendo 60°, refina-se a altura da fixação do cilindro no painel ejetor:

$$h_e = L_c \cdot \text{sen}(\alpha_1) = 36,4'' \text{ ou } 924\text{mm} \quad (4.32)$$

Tabela 4.5: Cursos e comprimentos abertos dos modelos de cilindro telescópicos

Modelo	X1 (pol)	Lc1 (S=120")	Lc2 (S=125")	Lc3 (S=130")
S64	10,56	41,56	42,81	44,06
S74	10,56	41,56	42,81	44,06
S84	11,06	42,06	43,31	44,56
S94	11,19	42,19	43,44	44,69
	CA	162	168	174

Com a altura da fixação, o curso e o comprimento fechado do cilindro, pode-se fazer uma análise das forças envolvidas durante a compactação do lixo. Como o cilindro é de 4 estágios, este processo será definido em 4 etapas, uma para cada diâmetro de haste do cilindro. A última etapa é realizada com o cilindro completamente fechado, e portanto o comprimento do cilindro nesta etapa é de 42", já o comprimento aproximado das outras três etapas será a soma do comprimento fechado com o curso do cilindro dividido por 3 vezes o número da etapa. Então: $Lc_1 = 168''$, $Lc_2 = 126''$, $Lc_3 = 85''$, $Lc_4 = 42''$. Da mesma forma, pode-se encontrar os ângulos do cilindro com a horizontal em cada etapa:

$$\alpha_i = \text{asen}\left(\frac{36,4}{Lc_i}\right) \quad (4.33)$$

O que resulta em: $\alpha_1 = 13^\circ$, $\alpha_2 = 17^\circ$, $\alpha_3 = 26^\circ$, $\alpha_4 = 60^\circ$.

Pelo equilíbrio, para que ocorra a compactação desejada, é necessário que a componente horizontal do cilindro ejetor seja igual a componente horizontal da $F_{LixoReal}$ definida na equação 4.19, e sabendo que esta forma um ângulo de aproximadamente 30° (β) com a horizontal, define-se a força axial no cilindro ejetor como:

$$F_{E_i} = \frac{F_{LixoReal} \cos(\beta)}{\cos(\alpha_i)} \quad (4.34)$$

Para que seja possível encontrar o Diâmetro de projeto de cada estágio, é necessário definir a pressão que o cilindro ejetor irá trabalhar. Para que o cilindro não realize uma força maior do que a força exercida pelo painel transportador no lixo, fazendo com que o painel ejetor permaneça imóvel, será utilizada uma válvula de alívio especial para coleta de lixo, que variará a pressão cada estágio do cilindro ejetor de 170 bar a aproximadamente 40 bar. Sendo assim, a tabela 4.6 apresenta um resumo das condições de projeto de cada estágio no caso crítico de 170 bar.

Portanto, o cilindro que melhor se enquadra nestes valores é o que possui: $D_1 = 5,75''$, $D_2 = 4,75''$, $D_3 = 3,75''$, $D_4 = 2,75''$.

Tabela 4.6: Análise dos estágios do cilindro ejetor

Estágio	Alpha	Lc (pol)	Fe (N)	Dmax a 170 bar (pol)
1	13	168	176907	4,5
2	17	125	180522	4,6
3	26	84	191605	4,7
4	60	42	345421	6,3

4.5 Fluido Hidráulico

Em busca de uma melhor disponibilidade técnica do coletor de lixo, evitando desgaste nos dutos e possíveis vazamentos decorrentes disto, será utilizado como referência neste trabalho, óleo hidráulico anti-desgaste (AW) do fabricante Mobil. O óleo hidráulico AW 68 possui um pacote de aditivos que garantem uma proteção extra contra o desgaste, resistência à oxidação e corrosão. Algumas de suas propriedades típicas estão na figura 4.15.

Propriedades Típicas

Mobil Hidráulico AW 68

Viscosidade,	ASTM D 445	
cSt a 40 °C		68
cSt a 100 °C		8,1
Ponto de Fluidez, °C	ASTM D 97	-6
Ponto de Fulgor, °C	ASTM D 92	220
Densidade Específica a 20°C, Kg/l	ASTM D 1298	0,878

Figura 4.15: Óleo hidráulico AW 68 do fabricante Mobil [17]

4.6 Sistema gerador

Após ter definido quais serão os atuadores hidráulicos, pode-se iniciar o dimensionamento do sistema que gerará potência para o circuito, ou seja, a tomada de força e a bomba. Bombas são as máquinas operatrizes hidráulicas que "fornecem" energia ao líquido a fim de transportá-lo de um ponto para outro. Segundo [18], "elas recebem energia de uma fonte motora qualquer e cedem parte desta energia ao fluido sob forma de energia de pressão, cinética ou ambas, isto é, elas aumentam a pressão do líquido, a velocidade, ou ambas essas grandezas.". No mercado, existem inúmeros tipos de bombas, sendo dois grandes grupos apresentados neste trabalho; As turbobombas e as bombas Volumétricas.

- **Turbobomba, ou dinâmicas** - São bombas onde um pequeno aumento de

pressão diminui substancialmente sua capacidade de vazão. Nestas, a movimentação do fluido se dá pelas forças que se desenvolvem no próprio fluido devido a rotação de uma roda com pás especiais [18]. São utilizadas principalmente para transferir líquidos, e portanto, quando o único tipo de resistência é a resistência do próprio peso do líquido ou a do atrito no escoamento. Alguns exemplos de turbobombas são as centrífugas, as de fluxo misto, de fluxo axial e as bombas periféricas.

- **Volumétricas ou de deslocamento positivo** - São as bombas onde a energia é fornecida ao fluido diretamente sob forma de pressão, ou seja, a movimentação do líquido é causada pela movimentação de um componente mecânico da bomba que empurra o líquido no sentido do seu movimento. Alguns exemplos de bombas volumétricas são as de pistão, de engrenagens, de lóbulos e de palhetas.

Como as bombas volumétricas permitem a transmissão de potência, estas serão utilizadas no circuito óleo hidráulico deste trabalho, e algumas das principais bombas volumétricas serão apresentadas. São elas:

- **Bomba de engrenagens** - Esta é a mais comum e a mais vantajosa economicamente. É composta basicamente por um par de engrenagens e pela carcaça. Uma das engrenagens é acionada por um motor e a outra é acionada pela engrenagem anterior. Ao se movimentarem, elas criam uma diferença de pressão que força o fluido a entrar na câmara e o leva para a área de saída da bomba, como mostrado na figura 4.16. Possui as vantagens de ser leve e compacta, é eficiente a alta pressão, alta tolerância a contaminação dos sistemas, porém, é excessivo o nível de ruídos.

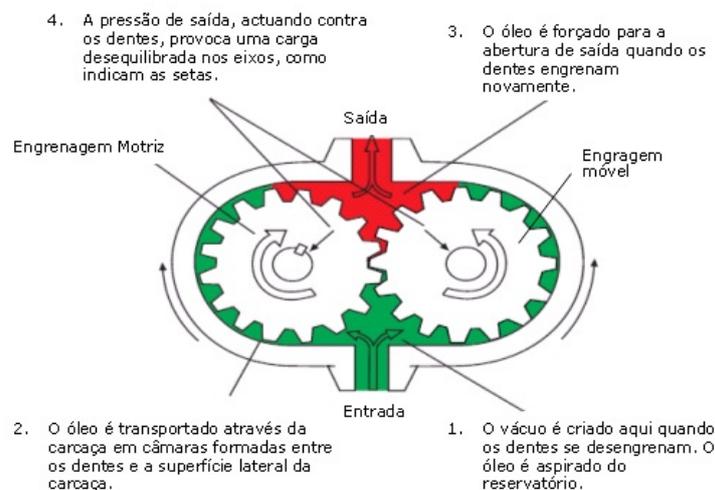


Figura 4.16: Funcionamento da bomba de engrenagens [15]

- **Bomba de Lóbulos** - O princípio de funcionamento é o mesmo das bombas de engrenagens, mas em vez de engrenagens como elemento mecânico, são utilizados rotores lobulares (tipo "Roots"). Nesta bomba, a vazão é menos suave e o nível de ruído é ainda mais elevado, além de possuir custo mais elevado. Portanto é aplicada apenas em casos específicos. A bomba de lóbulos está esquematizada na figura 4.17

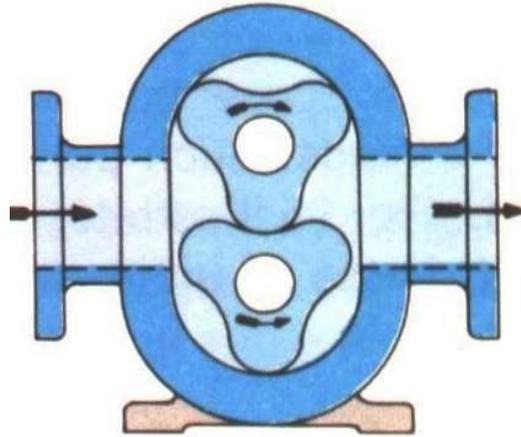


Figura 4.17: Bomba de Lóbulos

- **Bombas de palhetas** - Esta bomba é composta pela carcaça e por um rotor construído com ranhuras radiais (ou levemente inclinadas) onde se encontram as palhetas. Devido a rotação do rotor, as palhetas tendem a se afastar do centro pela força centrífuga e devido a excentricidade que existe entre o rotor e carcaça, o volume formado entre duas palhetas varia de um máximo a um mínimo, quando o fluido é expelido da bomba (figura 4.18). Apesar de serem mais caras, possuem as vantagens de emitir um baixo nível de ruído, apresentar grande tolerância a contaminação do sistema e fornecer uma vazão mais uniforme que minimiza as oscilações nas linhas dos sistemas hidráulicos.

Em uma tentativa de tentar reduzir a emissão de ruídos, uma das características mais marcantes dos caminhões de lixo, será utilizado neste trabalho uma bomba de palhetas, que segundo [14], possui a segunda melhor característica de emissão de ruídos dentre as bombas volumétricas de vazão fixa. A bomba de palhetas só perde para a bomba de engrenagens internas, que por sua vez se inviabiliza devido a aspectos econômicos.

4.6.1 Tomada de força

Tomada de força ou PTO, como foi dito na seção anterior é o eixo propulsor usado para transferir a força mecânica do motor do chassi para a bomba hidráulica

do compactador. Como já foi dito, a transmissão do chassi que vem montada com tomada de força de fábrica é a EATON FS 6406-A, basta selecionar qual a PTO relativa a esse modelo de transmissão. Conforme o catálogo do fabricante [19], existem algumas opções de tomada de força para este modelo, sendo a razão de transmissão o principal fator de seleção, ou seja, quantas rotações por minuto a PTO fornece para a bomba para cada rotação por minuto do motor do chassi. Visando novamente a redução de ruídos do equipamento, será escolhido neste trabalho a PTO que forneça a maior razão de transmissão, permitindo que o equipamento funcione a uma rotação mais baixa do caminhão, o que também acarretará em uma economia de combustível. Sendo assim, a tomada de força selecionada é a com engrenagem dupla com razão de transmissão de 1.38 e torque máximo de 237Nm.

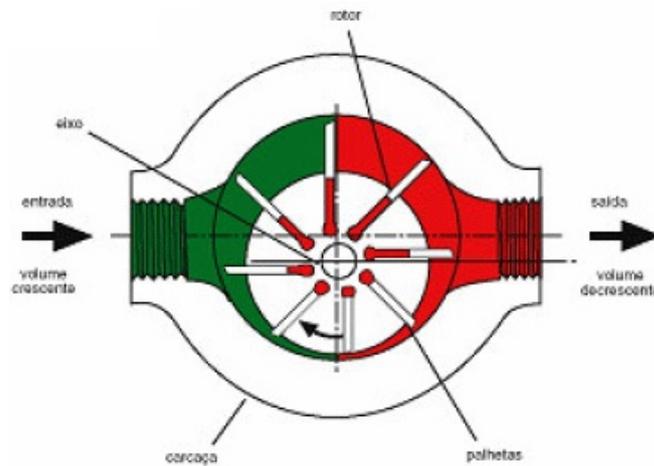


Figura 4.18: Bomba de palhetas [15]

4.6.2 Dimensionamento da Bomba

Para que seja possível definir qual a bomba que será utilizada no compactador, é preciso calcular a vazão e a pressão que deve-se ter nos atuadores hidráulicos, para que o equipamento tenha a performance pretendida.

Primeiramente, define-se o tempo requerido para o ciclo de compactação. Uma pesquisa com os principais coletores no mercado que disponibilizam esta informação foi feita e está presente na tabela 4.7. Será então estipulado que o compactador deste trabalho consiga realizar um ciclo de compactação inteiro em 18s, já levando em conta o tempo de acionamento do ciclo, em média 2s.

Lembrando que os cilindros compactadores e transportadores são iguais, e possuem 5" de diâmetro de êmbolo, 3" de diâmetro de haste e 600mm de curso, pode-se calcular o volume de óleo entrando no sentido de abrir e de fechar os cilindros, como na figura 4.19:

$$V_{A1} = Curso.A_1 = Curso.\pi \frac{De^2}{4} = 7600cm^3 \quad (4.35)$$

$$V_{A2} = Curso.A_2 = Curso.\pi \frac{De^2 - Dh^2}{4} = 4864cm^3 \quad (4.36)$$

Tabela 4.7: Performance de Coletores

Empresa	Modelo	Tempo compactação (s)	Pressão de trabalho (bar)
FACCHINI	FACCHINI	20	185
USIMECA	ALFA	19	175
USIMECA	BRUTUS	23	150
McNeillus	STANDARD	16	Não disponível

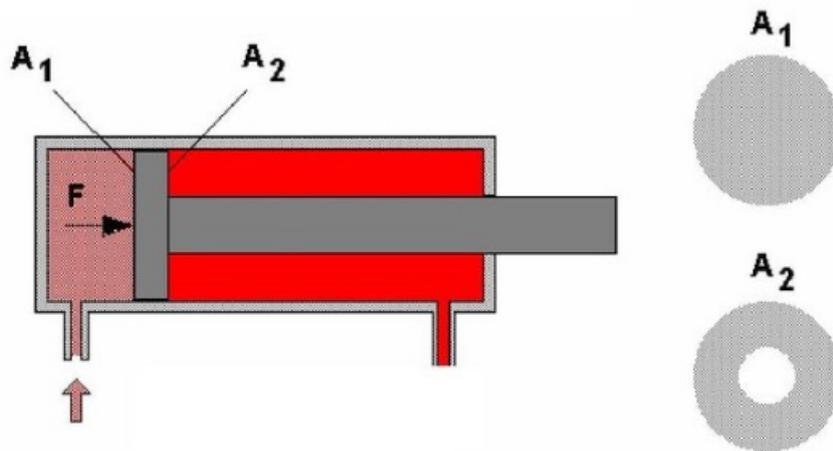


Figura 4.19: Volumes do Cilindro

Sendo dois cilindros transportadores e dois compactadores:

$$V_t = 2(V_{A1} + V_{A2}) = 24930cm^3 \quad (4.37)$$

Como já foi dito nas seções anteriores, sabe-se que o ciclo de compactação é composto por dois ciclos de movimento, um dos cilindros transportadores e outro dos cilindros compactadores (Cilindro compactador fecha, cilindro transportador abre, cilindro compactador abre, cilindro transportador fecha), e então a fórmula de [14] pode ser usada para $n=2$ ciclos/16 segundos.

$$Q_{teorico} = \frac{V_t.n.\eta_V}{1000} = \frac{24930 * 2 * 0,89}{16 * 1000} = 2770cm^3/s \text{ ou } 166L/min \quad (4.38)$$

Segundo [14], a potência hidráulica necessária ao sistema pode ser calculada da seguinte maneira

$$Pot = \frac{P \cdot Q}{\eta_t} \quad (4.39)$$

Sendo P a pressão de trabalho e η_t o rendimento geral da bomba, definido por [14] como aproximadamente 0,86 para bombas de palhetas. Portanto:

$$Pot = \frac{180 * 166}{0,86} \cdot \frac{1}{600} = 58kW \quad (4.40)$$

Será estabelecido que o motor do caminhão gire a 1200 rpm para transmitir a potência para a tomada de força (e portanto para a bomba), visto que este é um valor que garante um consumo de combustível satisfatório assim como sua emissão de ruídos. Utilizando então a razão de transmissão da PTO:

$$N_{Bomba} = 1.38N_{Motor} = 1656rpm \quad (4.41)$$

Define-se o deslocamento da bomba (V_g) como o volume de líquido transferido durante uma rotação, ou seja:

$$V_g = 1000 * \frac{Q_{teorico}(L/min)}{N_{Bomba}(rpm)} = 100cm^3/rev \quad (4.42)$$

Com o deslocamento da bomba definido, é possível identificar a bomba de palhetas através do catálogo [20]. Duas bombas simples possuem deslocamento imediatamente acima de $100cm^3/rev$, a *35VQ35* ($112,8cm^3/rev$) e a *35VQ38* ($121,6cm^3/rev$) (figura 4.20), porém, pelas curvas de performance (figura 4.21), a *35VQ35* fornece menos do que 150L/min de vazão e portanto a bomba escolhida é a *35VQ38*. As características desta bomba estão resumidas na tabela 4.8.

Tabela 4.8: Bomba selecionada

Modelo	35VQ 38
Deslocamento	121,6 cm ³ /rev
rpm máx	2400 rpm
Pressão max	210 bar
Massa	22,7 kg
Q (180 bar, 1650 rpm)	160 L/min
Pot (180 bar, 1650 rpm)	65 kW

Single Pump Operating Specifications

Model Series	Delivery USgpm @ 1200 r/min 7 bar (100 psi)	Displ. cm ³ /r (in ³ /r)	Max. r/min	Max. bar (psi)	Typical del. L/min (USgpm) @ max. speed & pressure	Typical input kW (hp) @ max. speed & pressure	Weight kg (lb)
20VQ	5	18,0 (1.10)	2700	210 (3000)	42,3 (11)	17,9 (24)	11,8 (26)
	8	27,4 (1.67)	2700	210 (3000)	65,4 (17)	26,1 (35)	
	11	36,4 (2.22)	2700	210 (3000)	88,5 (23)	35,4 (47.5)	
	12	39,5 (2.41)	2700	160 (2300)	98,1 (25.5)	28,4 (38)	
25VQ	14	45,9 (2.80)	2700	140 (2000)	115,4 (30)	29,1 (39)	14,5 (32)
	12	40,2 (2.45)	2700	210 (3000)	88,5 (23)	41,0 (55)	
	14	45,4 (2.77)	2700	210 (3000)	103,8 (27)	46,6 (62.5)	
	17	55,2 (3.37)	2500	210 (3000)	119,2 (31)	51,8 (69.5)	
35VQ	21	67,5 (4.12)	2500	210 (3000)	146,2 (38)	61,9 (83)	22,7 (50)
	25	81,6 (4.98)	2500	210 (3000)	173,1 (45)	75,3 (101)	
	30	97,7 (5.96)	2500	210 (3000)	211,5 (55)	87,7 (117.5)	
	35	112,8 (6.88)	2400	210 (3000)	230,8 (60)	98,5 (132)	
45VQ	38	121,6 (7.42)	2400	210 (3000)	250,0 (65)	104,4 (140)	34,1 (75)
	42	138,7 (8.46)	2200	175 (2500)	255,8 (66.5)	91,4 (122.5)	
	50	162,3 (9.90)	2200	175 (2500)	303,8 (79)	105,2 (141)	
	60	193,4 (11.80)	2200	175 (2500)	369,2 (96)	126,8 (170)	

Performance constants: SAE 10W fluid @ 82°C (180°F), and pump inlet @ 0 PSIG (14.7 PSIA)

Note: Outlet pressure must always be higher than inlet pressure.
See page 5 for details.

Figura 4.20: Bombas de palhetas do fabricante Eaton [20]

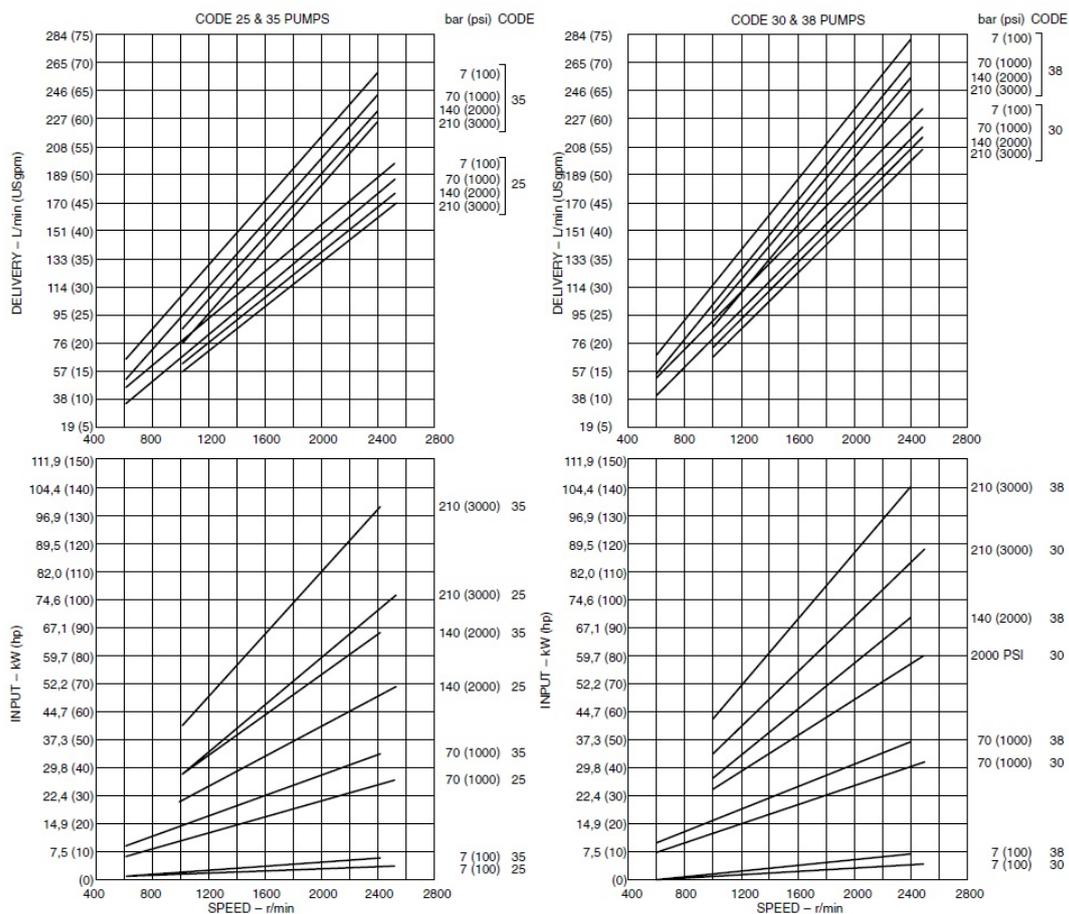


Figura 4.21: Curvas de performance das bombas modelo 35VQ

4.6.3 Filtros

Os filtros são os grandes responsáveis pela redução da concentração e do tamanho de partículas contaminantes do fluido, que podem diminuir a vida útil de todo o equipamento. Mais de 75% das falhas em sistemas hidráulicos e de lubrificação são devidos ao excesso de contaminação [15]. Existem basicamente três tipos de filtros: Filtros de linha de pressão, de sucção e de retorno. O primeiro é utilizado quando se necessita de uma perfeita limpeza do fluido utilizado em um determinado componente do sistema, que não é o caso deste equipamento e portanto este filtro não será utilizado aqui.

4.6.3.1 Filtro de sucção

É instalado dentro do reservatório hidráulico e posicionado abaixo do nível de óleo. Tem a função de impedir que corpos sólidos de maiores dimensões sejam succionados pela bomba. Pode-se adotar como regra que o filtro de sucção consiga deixar passar uma vazão de pelo menos 3 vezes a vazão nominal da bomba [11], e portanto, conforme a figura 4.22 do catálogo [21] o filtro selecionado é o FTS500.

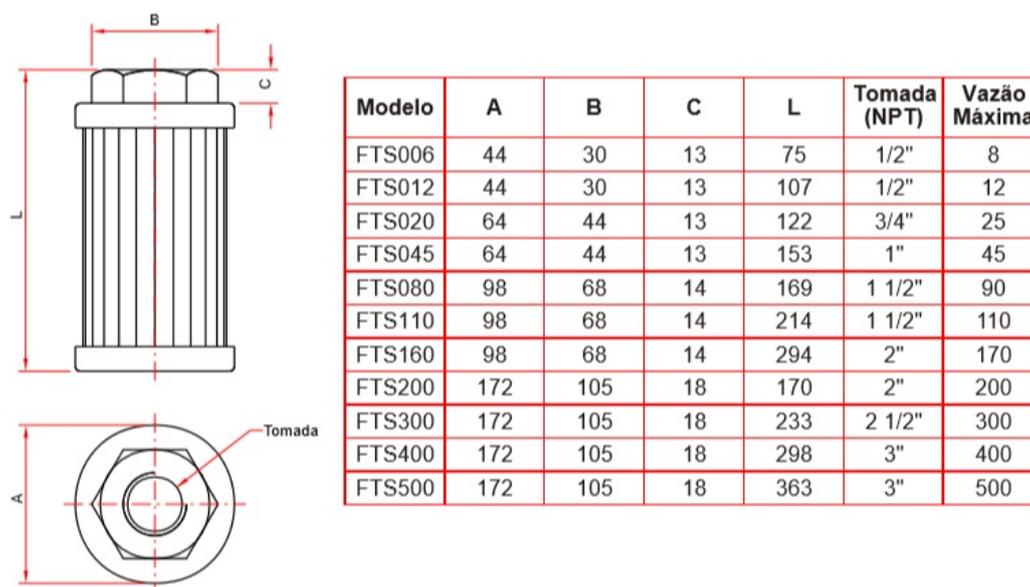


Figura 4.22: Filtros de sucção de montagem interna ao reservatório [21]

4.6.3.2 Filtro de retorno

É o filtro responsável pela limpeza de todo o óleo que retorna pro tanque, que contém impurezas absorvidas durante o ciclo de trabalho. O filtro de retorno utilizado será o FR24A (figura 4.23), pois este é o filtro que possui o meio filtrante mais eficiente da linha, além de ser mais compacto em suas dimensões.

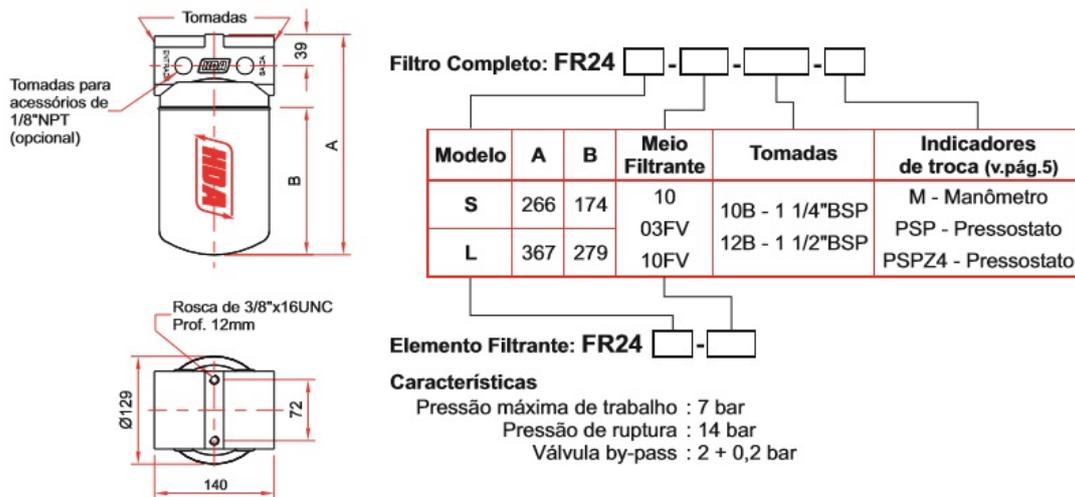


Figura 4.23: Filtro de retorno [21]

Pela figura 4.24, pode-se observar que a perda de carga devido ao filtro de retorno é de aproximadamente 0,3 bar e portanto pode ser desprezada.

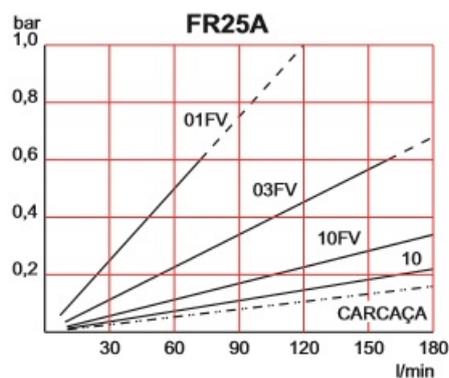


Figura 4.24: Curva característica de vazão em função da perda de carga [21]

4.7 Dimensionamento de Tubos e Mangueiras

4.7.1 Tubos

A seleção da tubulação do circuito hidráulico será feita conforme o catálogo [22]. Primeiramente, seleciona-se o material a ser utilizado de acordo com duas importantes características:

- **Corrosão** - O tubo deve resistir à corrosão provocada por agentes internos e principalmente externos à tubulação
- **Vibrações** - A velocidade do fluido, a alta frequência de vibrações e o choque de pressão podem flexionar e fadigar a tubulação perto das conexões. É importante a utilização de braçadeiras de fixação.

Neste trabalho, será utilizado tubos de aço trefilado sem costura, que são adequados para dobrar, resistem a altas temperaturas além de possuírem boa resistência mecânica e suportarem vibrações. Está amplamente difundido neste setor de aplicação, a utilização de tubos de aço de precisão segundo a norma DIN 2391-C de St 35. Estes aços possuem boas propriedades para operações posteriores, como soldar e dobrar, além da compatibilidade do diâmetro externo com conexões.

Neste momento, é necessário definir os diâmetros internos e as espessuras de parede de cada tipo de tubulação, que são três: A tubulação da linha de pressão, da linha de sucção e da linha de retorno. Para que o escoamento seja laminar em cada uma destas tubulações, [14] fornece a tabela 4.9 de velocidades recomendadas.

Tabela 4.9: Velocidades recomendadas para pressão de 180 bar e viscosidade cinemática de 70cSt

	V (cm/s)
Tubos de Sucção	100
Tubos de Retorno	300
Tubos de pressão	500

Sabe-se que a vazão é o produto da velocidade do fluido pela área da seção transversal do tubo.

$$Q = V.A_t \quad (4.43)$$

Que pode ser reescrita como:

$$D_i = \sqrt{\frac{4Q}{\pi.V}} \quad (4.44)$$

Para cada velocidade da tabela 4.9, foi calculado o diâmetro pela equação acima, utilizando a vazão encontrada na seção anterior (160L/min). A tabela 4.10 disponibiliza estes valores, além do diâmetro e da espessura de parede selecionados de acordo com o catálogo [22], exceto para o duto de sucção que será flexível (mangueira).

Tabela 4.10: Tubos selecionados

	$D_{i\text{teo}}$ (mm)	D_i selecionado (mm)	t da parede (mm)
Tubos de Sucção	58	-	-
Tubos de Retorno	34	34	4
Tubos de pressão	26	27	2,5

É necessário verificar se esta espessura de parede esta adequada, para isso, a norma DIN2413 fornece a seguinte equação:

$$t = \frac{D_i \cdot P}{20 \frac{K}{s} f_q - 2P} \quad (4.45)$$

Onde K é o valor característico de resistência (para tubos St 35, $K=235\text{N/mm}^2$), s é o coeficiente de segurança para tubos segundo a norma DIN 50049 (para o caso vale 1,5) e f_q é o fator de qualidade do tubo (para tubos de uso geral vale 0,5). Os valores encontrados foram 2,13 para a tubulação de retorno e 1,48 para a tubulação de pressão. A norma também define um limite para a razão entre o diâmetro externo e o diâmetro interno, que é 1,7. Chega-se a conclusão que os tubos da tabela 4.10 estão adequados.

4.7.2 Mangueiras

Alguns dutos do equipamento precisam ser flexíveis para permitir a constante movimentação dos painéis ou para facilitar o processo de montagem/desmontagem do equipamento, estes dutos são as mangueiras hidráulicas.

Basicamente todas as mangueiras hidráulicas consistem em um tubo interno, um reforço e a cobertura, conforme a figura 4.25.

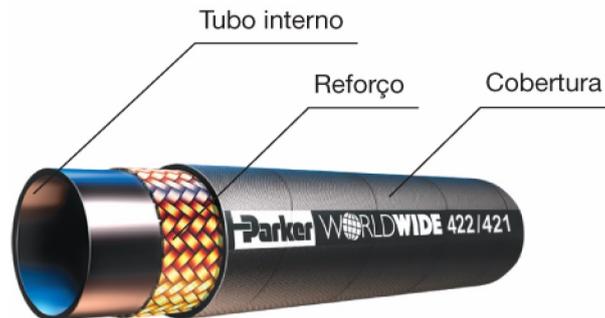


Figura 4.25: Mangueira hidráulica [15]

Da mesma forma que foi feito com os tubos hidráulicos, o diâmetro interno pode ser calculado pela fórmula 4.44 e os diâmetros mínimos das mangueiras serão os mesmos da tabela 4.10. O fabricante Parker em [15] possui um gráfico para a seleção da bitola da mangueira, mostrado na figura 4.26. Com a bitola selecionada, encontra-se o modelo adequado da mangueira para a pressão de trabalho especificada (180 bar ou 2600 psi) através da tabela 4.27. Finalmente, pode-se verificar a norma relativa ao modelo da mangueira e suas características.

As mangueiras selecionadas e suas características estão resumidas na tabela 4.11.

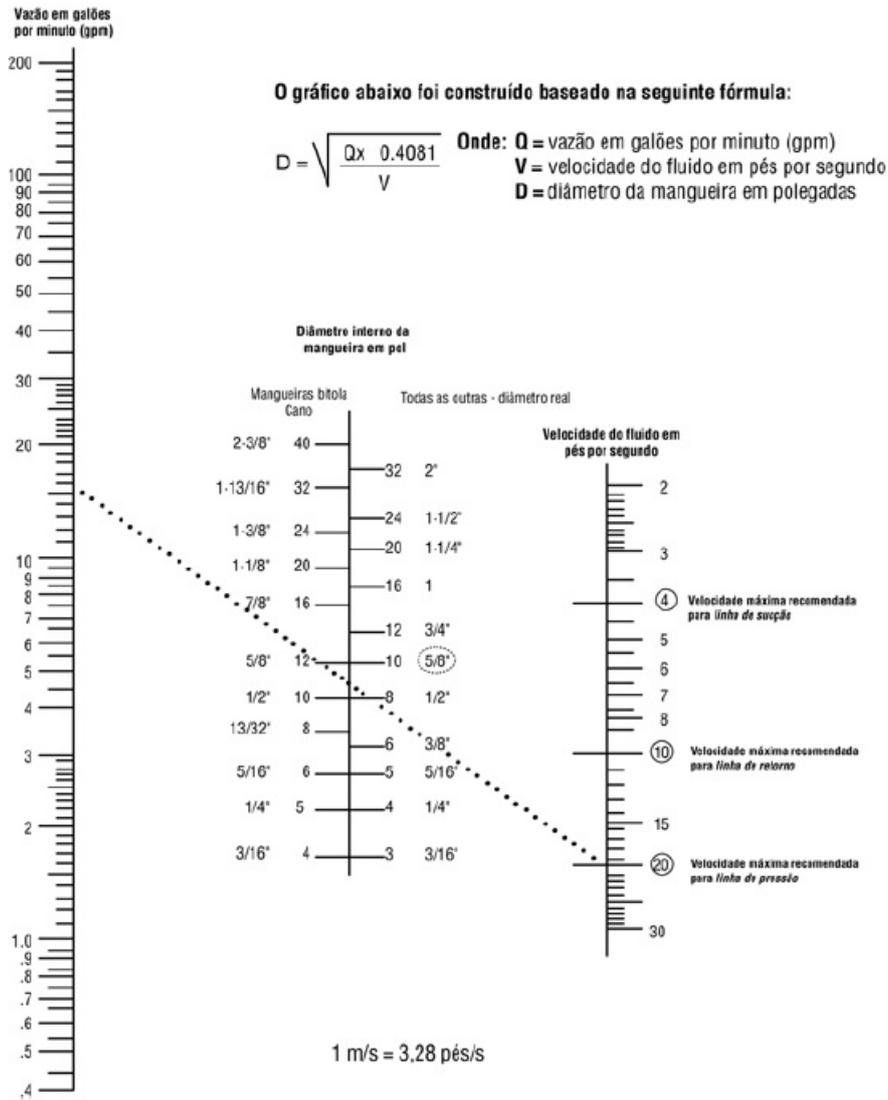


Figura 4.26: Seleção da bitola da mangueira hidráulica [15]

Tabela 4.11: Mangueiras selecionadas

	Sucção	Pressão	Retorno
Di (mm)	50,8	25,4	38,1
Bitola	32	16	24
Cód. Parker	881	451TC	201
Aplicação	Sucção	Média e alta pressão, cobertura resistente a abrasão	Média pressão
Norma	SAE100R4	SAE100R17	SAE100R5

4.8 Sistema de controle

Existem inúmeros dispositivos de controle de fluxo, porém, neste trabalho, dois tem papel fundamental no funcionamento do equipamento. São as válvulas direcionais e as válvulas reguladoras de pressão.

Código mangueira Parker	Bitola da mangueira												
	-3	-4	-5	-6	-8	-10	-12	-16	-20	-24	-32	-40	-48
801		250		250	250	250	250						
831/JIFFY		350		300	300	300	300						
837BM		300		300	300	300	300						
836		250		250	250	250							
821FR		350		300	300		250						
601		1250		1125	1000		750	565					
881							300	250	200	150	100		
201		3000	3000	2250	2000	1750	1500	800	625	500	350	350	200
206		3000	3000	2250	2000	1750	1500	800	625	500	350	350	
421SN		2750	2500	2250	2000	1500	1250	1000	625	500	375		
481		3250	3250	3000	2500	2000	1750	1275					
426		2750		2250	2000	1500	1250	1000	625	500	375		
421WC		2750		2250	2000		1250	1000					
431		5000		4000	3500	2750	2250	2000					
301SN	5000	5000		4000	3500	2750	2250	2000	1625	1250	1125		
381		5800	5075	5000	4250	3600	3100	2500	2250	1750	1250		
451TC		3000		3000	3000	3000	3000	3000					
304		5000		4000	3500		2250	2000					
341				4500	4000		3000	3000	2500				
77C/721TC				4000	4000	4000	4000	4000	3000	2500	2500		
772TC				4000	4000	4000	4000	4000	3000	2500	2500		
78C/781/P35							5000	5000	5000	5000	5000		
782TC							5000	5000	5000	5000	5000		
701				6500	6000	5000							
731							6000	5500	4700	4200	3600		
791TC/792TC							6000	6000	6000				
244					350		350	350	350	350			
285		400		400	400	400	400						
213		2000	1500	1500	1250	1000	750	400	300	250	200	175	150
SS25UL		350	350	350	350	350	350						

Figura 4.27: Seleção do modelo da mangueira hidráulica [15]

4.8.1 Válvulas direcionais

Os compactadores de lixo, assim como a maioria dos sistemas hidráulicos, possuem a necessidade de se controlar a direção e o sentido do fluxo do óleo para que os cilindros hidráulicos possam movimentar os painéis e assim realizar a compactação do lixo. Para que este controle seja realizado, existem basicamente dois tipos de válvulas direcionais: As do tipo pistão ou esfera e as do tipo carretel deslizante .

As válvulas do tipo pistão ou esfera são utilizadas quando se quer permitir o fluxo de fluido em um sentido de impedir (ou permitir somente quando desejado) fluxo no sentido oposto, conforme a figura 4.28.

Já as válvulas do tipo carretel deslizante (figura 4.29) são uma maneira prática de controlar o sentido do fluido e possuem uma simples e rápida interação com o operador. Uma peça cilíndrica com rebaixos desliza dentro de um corpo que possui diversos furos por onde passa o óleo, bloqueando ou liberando vias e então determinando a direção do fluxo. Devido a estas características, serão as válvulas do tipo carretel que controlarão o fluxo de óleo nos cilindros hidráulicos.

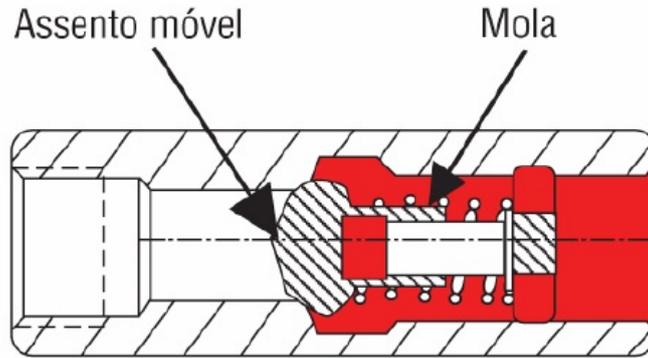


Figura 4.28: Válvula do tipo pistão ou esfera

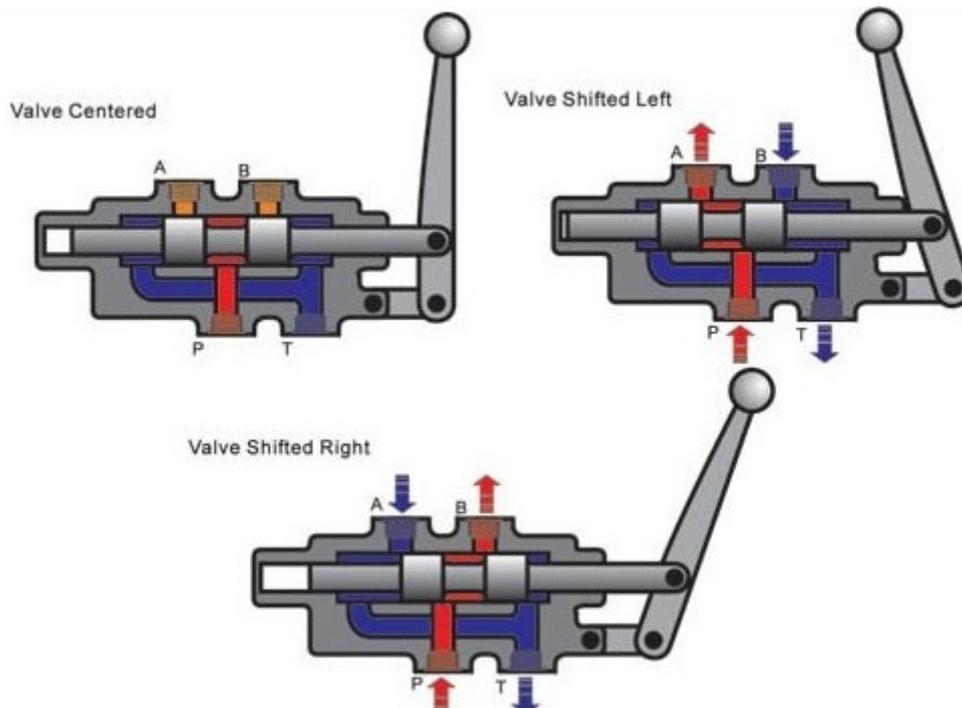


Figura 4.29: Válvula do tipo carretel deslizante, três posições

4.8.2 Válvulas reguladoras de pressão

As válvulas reguladoras de pressão são dispositivos que controlam o fluxo do fluido de tal forma que o nível de pressão estabelecido seja atingido e mantido. Elas podem funcionar limitando a pressão máxima do sistema, determinando o nível de pressão de trabalho, determinando dois níveis diferentes de pressão, ou determinando ao mesmo tempo dois níveis de pressão distintos [11]. As válvulas reguladoras de pressão são:

- Válvulas de alívio
- Válvulas de descarga
- Válvulas de contrabalanço

- Válvulas de sequência
- Válvulas redutoras
- Válvulas supressoras de choque

4.8.3 Comandos múltiplos

Para que seja possível a utilização destas válvulas no equipamento de coleta de lixo, é necessário que estas possuam algumas características como compatibilidade, robustez, simplicidade de acionamento e interação com o operador, facilidade de manutenção entre outras. Para atender todas essas demandas existem os comandos móveis (figura 4.30), que são corpos acoplados que possuem as válvulas direcionais ou reguladoras de pressão e que acionam diferentes atuadores ao mesmo tempo, ou em separado.



Figura 4.30: Comando múltiplo

4.8.4 Seleção do sistema de controle do equipamento

Os comandos do catálogo [23] do fabricante Parker são compostos por um corpo de admissão, de um até dez corpos centrais e um corpo de descarga. Estes comandos dispõem de circuito paralelo, tendo by-pass na posição centrada, ou seja, fornecem fluxo de óleo livre do corpo de admissão para o corpo de descarga quando os corpos centrais não são utilizados (figura 4.31).

Para o funcionamento do equipamento, serão utilizados dois comandos, um na traseira do veículo (comando traseiro) que operará o compactador em si, ou seja, os cilindros transportadores e compactadores que movimentam seus respectivos painéis, e outro comando localizado atrás da cabine do chassi (comando dianteiro), que será responsável pelo controle dos cilindros de levantamento e ejetor.

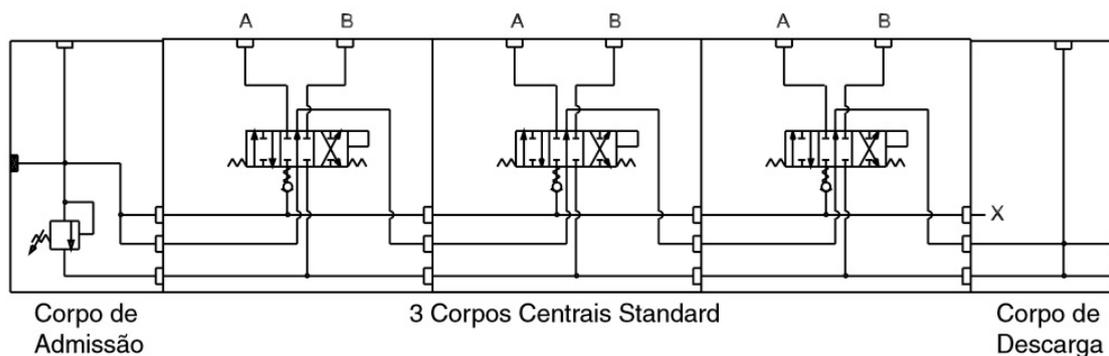


Figura 4.31: Exemplo do circuito de um comando múltiplo

4.8.4.1 Comando dianteiro

A bomba será diretamente ligada ao corpo de admissão do comando dianteiro e portanto este deverá possuir uma válvula de alívio regulando a pressão geral de trabalho em 180 bar.

O segundo corpo, será responsável pelos cilindros de levantamento da porta e como eles funcionarão na pressão de trabalho, não será necessário a utilização de válvulas de controle de pressão. Os cilindros precisarão ser acionados a qualquer instante então a haste de três vias será apropriada. conforme a figura 4.32 o controle funcionará da seguinte forma: Na posição inicial o óleo passará direto pelo corpo, sem acionar os cilindros, na posição A o óleo da linha de pressão será desviado para os cilindros de levantamento, realizando o levantamento da porta, e na posição B o óleo presente no interior dos cilindros de levantamento é desviado para a linha de retorno, fazendo com que os cilindros de levantamento retornem por ação da força da gravidade da porta. A ação da haste será centrada por mola, ou seja, quando a alavanca for solta, ela voltará a sua posição inicial.

O terceiro corpo, controlará a ação do cilindro ejetor. Como o cilindro ejetor é de dupla ação, convém utilizar duas válvulas de alívio e uma válvula direcional de três vias para o controle do painel. A válvula de alívio na posição de avanço do cilindro ejetor será regulada em 100 bar, visto que a força realizada pelo cilindro neste sentido é menor (sentido de ejetar o lixo para fora da caçamba), já a válvula de alívio no sentido de retorno do cilindro ejetor, tem características diferentes das demais. Uma válvula desenvolvida para coleta de lixo será utilizada, a *Smartpacking*. Esta válvula manterá inicialmente a pressão máxima no interior do cilindro regulada a 170 bar. Quando a alavanca do comando for colocada em sua posição inicial, um canal piloto "sente" a pressão na linha de pressão do sistema, e quando esta for de 130 bar, parte do fluido presente no cilindro ejetor é desviada para tanque reduzindo a pressão de 170 bar, fazendo com que a força de resistência do cilindro seja menor, e portanto fazendo com que o painel ejetor recue. Uma ilustração do funcionamento

desta válvula está na figura 4.33 O corpo de descarga do comando dianteiro deverá apresentar nível de passagem de pressão para se comunicar com o comando traseiro, conforme esquema da figura 4.32.

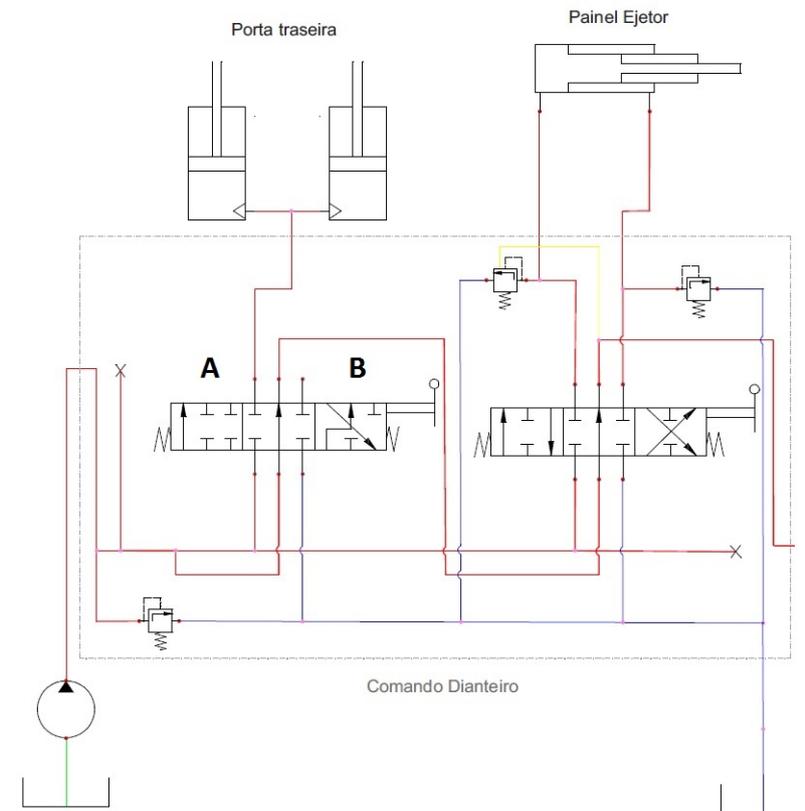


Figura 4.32: Esquema hidráulico do comando dianteiro

4.8.4.2 Comando Traseiro

O comando traseiro ficará responsável pelo controle dos cilindros compactadores e transportadores, portanto ele será composto também por 4 blocos: Um de admissão (conectado ao comando dianteiro), um para controle dos cilindros compactadores, um para controle dos cilindros transportadores e um último de descarga para a linha de retorno. É importante observar que em alguns modelos de compactadores de lixo este comando é composto por até 4 corpos intermediários, sobrando 2 corpos para acionamento de possíveis acessórios de basculamento de contêineres.

O primeiro corpo deste comando será o corpo de admissão do óleo proveniente da saída by-pass do comando dianteiro, e como este já possui a válvula de alívio que regula a pressão geral, não é necessário a presença de outra deste tipo.

O segundo corpo será o responsável pelo acionamento dos cilindros compactadores. Estes funcionarão de acordo com a pressão geral, e portanto sem a necessidade de válvulas reguladoras de pressão. Seu acionamento será centrado por mola com detente nas duas posições com e desarme automático, ou seja, quando a alavanca

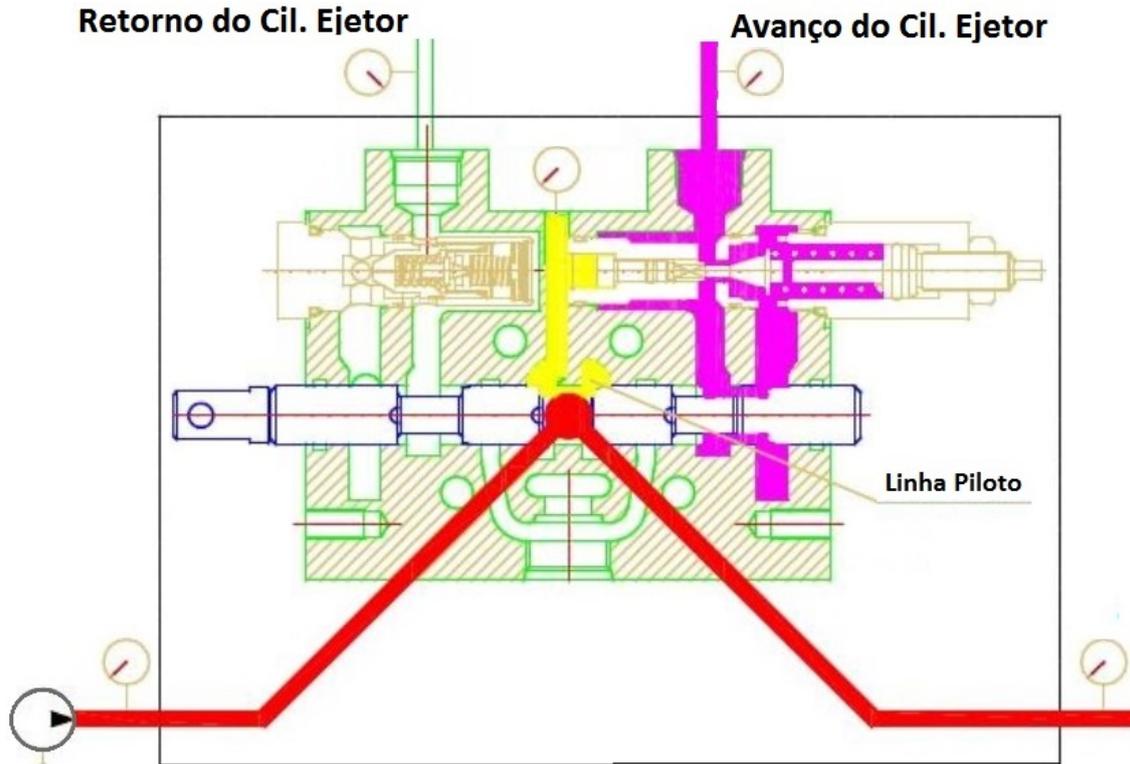


Figura 4.33: Funcionamento da válvula *smartpacking*

for colocada nas posições A ou B ela continuará nesta até que o operador volte a alavanca para a posição inicial, ou até o ponto em que a pressão na linha atinja a pressão de trabalho.

O terceiro corpo acionará os cilindros transportadores. Conforme dito na seção 4.4.2, este corpo do comando traseiro deverá conter uma válvula reguladora de pressão com limite maior do que a pressão geral, para que o cilindro transportador não tenda a retornar devido à pressão do lixo no painel transportador. Esta válvula será regulada em 230 bar e a válvula direcional deste corpo terá as mesmas características do corpo anterior.

O último corpo do comando traseiro levará o fluido que estava na linha de bypass e a linha de retorno juntos para o reservatório. O esquema hidráulico deste comando está ilustrado na figura 4.34 e o esquema completo do equipamento está anexo a este trabalho.

4.9 Perda de carga na linha de pressão

Devido a diversos fatores do escoamento do óleo hidráulico, pode-se ocorrer uma perda de pressão significativa da bomba até os atuadores hidráulicos. O cálculo

desta diferença de pressão é feito da seguinte maneira:

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2 \gamma}{9266} \cdot \frac{1}{215915} \quad (4.46)$$

Onde:

- ΔP - Perda de carga em bar.
- f - Fator de fricção, para o caso de escoamento em tubulações flexíveis e temperatura variável $\frac{90}{Re}$.
- L - É o comprimento total da tubulação, ou seja, $L_l + L_s$.
- L_l - Comprimento da tubulação reta.
- L_s - Comprimento equivalente das singularidades em centímetros.
- D - Diâmetro interno da tubulação.
- V - Velocidade de escoamento em cm/s.
- γ - Densidade do fluido em Kg/m^3 , para o óleo hidráulico AW 68: 878kg/cm^3 .

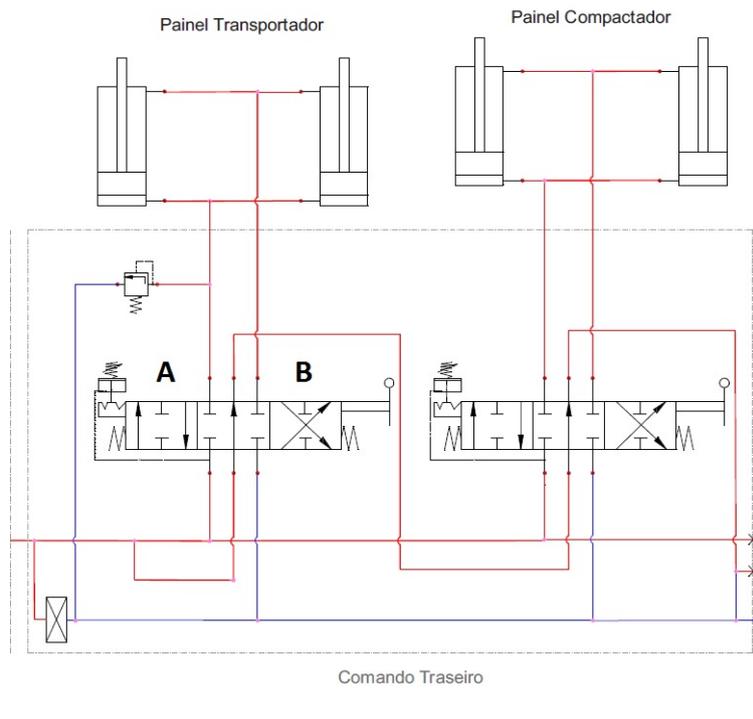


Figura 4.34: Esquema hidráulico do comando traseiro

O primeiro passo para calcular a perda de carga é determinar o fator de fricção, no caso do escoamento no compactador, utilizando os dados da seção anterior e a viscosidade cinemática do fluido de 0,68 St:

$$f = \frac{90}{Re} = \frac{90}{\frac{V.D}{v}} = \frac{90}{\frac{500.2,7}{0,68}} = 0,05 \quad (4.47)$$

O comprimento da tubulação reta da linha de pressão foi estimada utilizando as dimensões gerais do capítulo anterior, e confirmada após a modelagem computacional do equipamento. Seu valor é de aproximadamente 980cm. A tubulação da linha de pressão também deverá conter cerca de: 1 Cotovelo 90° de raio curto, 6 cotoveis 90° de raio longo, um "Tê" de saída bi-lateral e 2 entradas normais. Segundo a tabela de [11], isto resulta em um comprimento equivalente de:

$$L_s = (31,5 + 6 * 19,69 + 66,93 + 2 * 11,81) * 2,54 = 610,1cm \quad (4.48)$$

Portanto:

$$L = 610 + 980 = 1590cm \quad (4.49)$$

$$\Delta P = 0,05 * \frac{1590}{2,7} * \frac{500^2 * 878}{9266} * \frac{1}{215915} = 3bar \quad (4.50)$$

O catálogo do fabricante dos comandos hidráulicos [23] fornece um gráfico para perda de carga pelo número de corpos intermediários (figura 4.35). Como os comandos traseiro e dianteiro possuem dois corpos intermediários cada, pode-se estimar a perda de carga devido aos comandos em 16 bar.

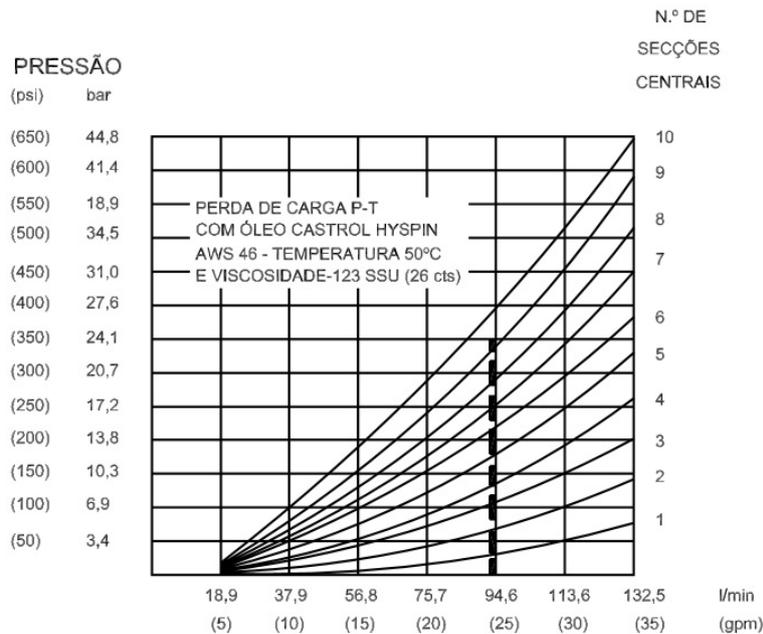


Figura 4.35: Perda de carga por número de corpos centrais no comando

Sendo assim, a perda de pressão na linha de pressão é de cerca de 19 bar.

Analisando novamente a força exercida pelos cilindros de compactação, obtém-se:

$$F = P * A = (180 - 19) * \frac{\pi(5 * 25,4)^2}{4} = 204040N \quad (4.51)$$

Este valor é cerca de 6% menor que o valor da força requerida para compactar o lixo em uma razão de 3 para 1, porém, tendo em vista o caráter conservador da análise, pode-se considerar este valor satisfatório.

4.10 Performance

Após selecionar todos os componentes hidráulicos do compactador de lixo, pode-se calcular a performance do equipamento, ou seja, determinar em quanto tempo o este consegue realizar suas funções. Das seções anteriores, sabe-se que a vazão do circuito pode ser calculada da seguinte forma:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (4.52)$$

Sendo Q a vazão da bomba definida na seção 4.6.2, 160L/min. O volume total de óleo nos cilindros durante o ciclo de compactação foi definido na equação 4.38 e vale 49860cm³ ou 49,86L. Portanto:

$$t_{compactacao} = \frac{49,86 * 0,89}{160} = 0,31min \text{ ou } 18,87s \quad (4.53)$$

A fase de ejeção do cilindro pode ser desmembrada em duas, o levantamento da porta e a expulsão dos resíduos pelo cilindro ejetor. Para o levantamento da porta, o volume total de óleo será:

$$V_{levantamento} = 2 * Curso * A_{levantamento} = \frac{2 * 8,13'' * (3,5 * 0,254)^2 * \pi}{4} = 10,1L \quad (4.54)$$

Que resulta em um tempo de levantamento da porta:

$$t_{levantamento} = \frac{10,1 * 0,89}{160} = 0,063min \text{ ou } 3,8s \quad (4.55)$$

Por fim, para calcular o tempo de ejeção do lixo, é preciso quantificar o volume do cilindro telescópico. Como na seção 4.4.4, estima-se que o volume de cada estágio seja o curso aproximado definido na tabela 4.6 multiplicado pela área relativa a esse estágio, ou seja:

$$V_{estagio1} = 42'' * 5,75''^2 * \frac{\pi}{4} = 1091pol^2 \text{ ou } 17,87L \quad (4.56)$$

$$V_{estagio2} = 85'' * 4,75''^2 * \frac{\pi}{4} = 1506pol^2 \text{ ou } 24,68L \quad (4.57)$$

$$V_{estagio3} = 126'' * 3,75''^2 * \frac{\pi}{4} = 1392pol^2 \text{ ou } 22,80L \quad (4.58)$$

$$V_{estagio4} = 168'' * 2,75''^2 * \frac{\pi}{4} = 998pol^2 \text{ ou } 16,35L \quad (4.59)$$

$$V_{ejetortotal} = 17,87 + 24,68 + 22,8 + 16,35 = 81,7L \quad (4.60)$$

Finalizando:

$$t_{ejetor} = \frac{81,7}{160} = 0,51min \text{ ou } 30,6s \quad (4.61)$$

Portanto, o equipamento pode realizar um ciclo de compactação completo em 18,87 segundos, e ejetar o lixo na estação de transbordo em 34,4 segundos, sem considerar os tempos de acionamento das alavancas ou de destrancamento da porta.

Capítulo 5

Estrutura

O compactador de lixo é um equipamento que precisa ser robusto e resistente para aguentar as cargas que constantemente está exposto. O coletor apresenta inúmeras solicitações de esforços, em praticamente todos os seus componentes, o que dificulta uma análise estrutural completa. Visto isso, esta seção tem como objetivo analisar alguns dos componentes mais críticos, sendo classificados assim através de observações diretas do próprio autor.

5.1 Resistência dos materiais

Antes de analisar componentes estruturais do equipamento, faz-se necessário a definição de alguns conceitos de resistência dos materiais, que é o estudo da relação entre os esforços externos que atuam em um objeto e a intensidade das cargas internas no interior deste corpo.

Considerando, os materiais como contínuos (distribuição uniforme sem vazios) e coesos (partes bem unidas sem trincas ou falhas), define-se tensão como a força interna por unidade de área, ou a intensidade das forças internas distribuídas sobre determinada seção [24]. As tensões são calculadas dependendo do tipo de força interna que o corpo está submetido, e podem ser:

- Devido à força normal, gerada pela componente axial do esforço externo (Figura 5.1).

$$\sigma_n = P/A \quad (5.1)$$

- Devido ao momento fletor, que acontece quando forças externas tendem a modificar o eixo do corpo (Figura 5.2).

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W_f} \quad (5.2)$$

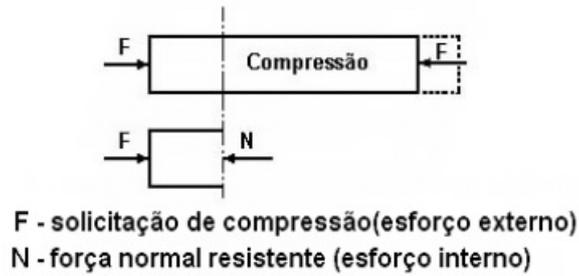


Figura 5.1: Força normal

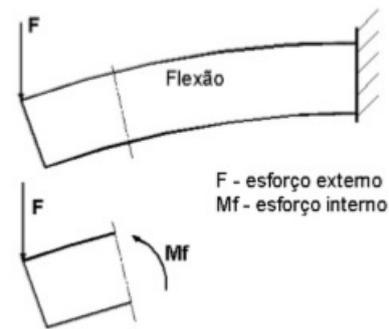


Figura 5.2: Momento fletor

- De cisalhamento, devido à torção que acontece quando duas seções de um corpo tendem a girar uma em relação a outra pela ação de um momento aplicado por forças externas ou quando duas seções tendem a escorregar uma em relação a outra pela ação de forças externas (figura 5.3).

$$\tau_{max} = \frac{T}{W_t}, \tau = \frac{Q}{A} \quad (5.3)$$

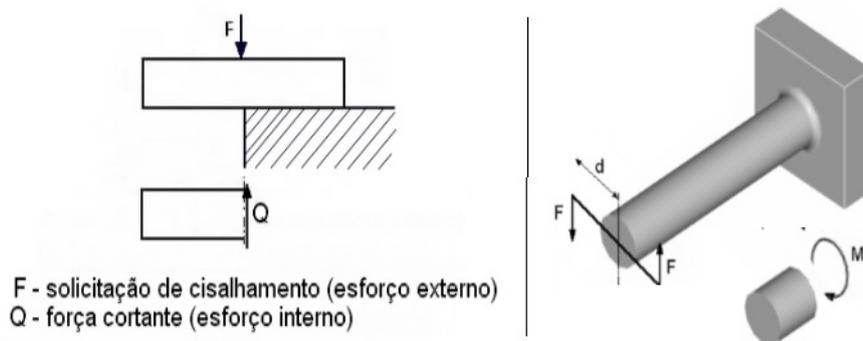


Figura 5.3: Força cortante e Momento torsor

Em geral, o estado de tensão em um ponto de um corpo carregado genericamente pode ser representado pelo cubo centrado neste ponto como na figura 5.4(a)

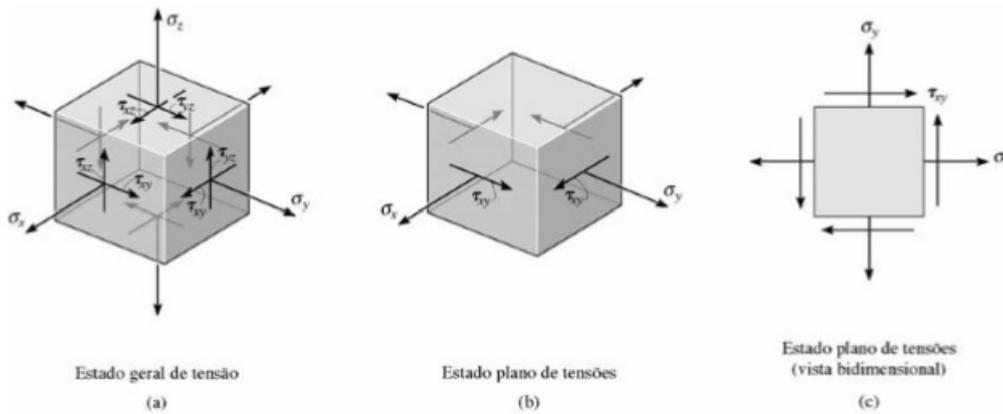


Figura 5.4: Estado geral de tensão

Para o dimensionamento de componentes, é necessário saber até qual valor de tensão em um ponto que o material deste corpo resiste. Buscando que os componentes se comportem conforme o esperado sem risco de falharem, é interessante que estes trabalhem na região elástica da lei de Hooke, ilustrada na figura 5.5.

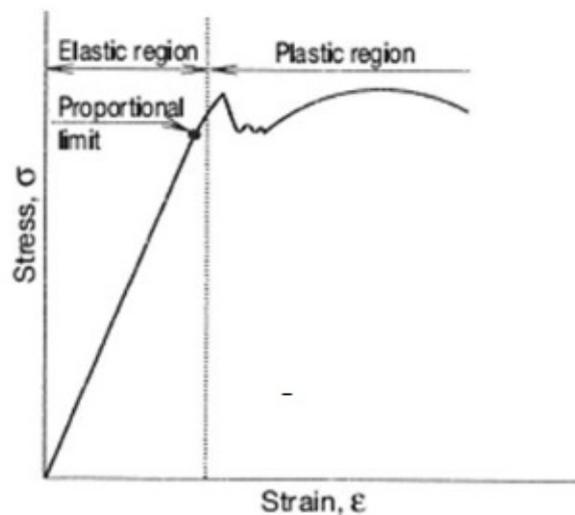


Figura 5.5: Lei de Hooke é obedecida na região proporcional

Para verificar qual a combinação de todas as componentes de tensão no elemento (compressão, cisalhamento, tração) que levará este a falha, existem alguns critérios de falha, como o de Rankine e o de Mohr-Coulomb para materiais frágeis, e os critérios de Tresca e de Von Mises para materiais dúcteis. Neste trabalho, será utilizado o critério de Von Mises (ou critério da máxima energia de distorção) que para um estado plano de tensões (figura 5.4) pode ser escrito como:

$$\sqrt{\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 - \sigma_{xx}\sigma_{yy} + 3\tau_{xy}^2} = \sigma_{adm} < \sigma_e \quad (5.4)$$

A fim de evitar maior possibilidade de falha do material, estipula-se um Fator de segurança FS, que é a relação entre a carga de escoamento e a carga admissível, ou seja:

$$FS = \frac{\sigma_e}{\sigma_{adm}} \quad (5.5)$$

O fator de segurança deverá ser sempre um número maior do que 1, e deve ser estipulado observando os tipos de materiais usados, a finalidade pretendida da estrutura entre outras características. Uma boa referência para determinar o fator de segurança mínimo é a tabela da figura 5.6 de [25], onde carga tipo I são cargas constantes, carga tipo II são cargas pulsantes e carga tipo III são cargas alternadas (tração e compressão).

5.1.1 Seleção de materiais

A seleção de materiais do compactador de lixo pode ser um processo bastante complexo caso envolva a avaliação de muitos parâmetros físicos, de natureza econômica e de processamento [5]. Além disso, a escolha do material a ser utilizado em cada componente influencia diretamente no cálculo dos esforços e deflexões, determinando se as peças resistirão aos esforços que serão solicitadas. Para a seleção dos materiais do compactador de lixo, as seguintes propriedades foram consideradas como principais:

- **Resistência Mecânica** - Pode ser definida como a capacidade de um elemento de suportar as solicitações externas (tração, compressão, cisalhamento, torção ou flexão) sem que estas lhe causem deformações irreversíveis.
- **Disponibilidade no mercado** - Para que a fabricação do equipamento seja viável, e sua manutenção seja possível, é preciso que seus componentes sejam fabricados com materiais que sejam acessíveis e de fácil obtenção.
- **Soldabilidade** - A maior parte dos componentes serão unidos por meio de soldas, portanto, em alguns casos é preciso que os elementos possuam boa soldabilidade, que pode ser definida como a capacidade que os materiais têm de ser unidos por processo de soldagem e então garantir a continuidade metalúrgica dos elementos.
- **Resistência à corrosão** - Alguns dos materiais estarão em contato a maior parte do tempo com meios corrosivos, como é o caso do chorume do lixo, e portanto, precisam ter certa resistência a corrosão

- **Resistência à abrasão** - A natureza do lixo que será compactado no equipamento nunca será totalmente conhecida, e portanto alguns itens mais duros podem ser friccionados contra a estrutura do compactador. Visto isso, algumas partes precisam ser fabricadas com aços resistentes à abrasão, ou seja, aços mais resistentes à perda de material devido a passagem de partículas rígidas sobre a superfície.

Tabela de valores de referência para o fator de segurança (N)*

Tipo de Carga		Aços materiais dúcteis		Ferro fundido materiais frágeis	Madeiras
		Baseado no escoamento	Baseado na ruptura		
Carga gradualmente aplicada	Tipo I	1,5 a 2	3 a 4	5 a 6	7
	Tipo II	3	6	7 a 8	10
	Tipo III	4	8	10 a 12	15
Cargas aplicadas bruscamente		Multiplicar os valores acima por 2			

Figura 5.6: Fatores de segurança indicados [25]

Existe no mercado uma grande variedade de aços com diferentes características de resistência mecânica, soldabilidade, resistência a corrosão e abrasão. Observando as características do compactador de lixo, serão utilizados aços comuns, aços inoxidáveis e aços resistentes a abrasão HARDOX.

5.1.1.1 Aços carbono comuns

Aços são ligas Ferro-Carbono com pequenas quantidades de Silício, Manganês, Fósforo e Enxofre. A quantidade de carbono na estrutura do aço define sua classificação, e podem ser de alto teor de Carbono quando possuem mais do que 0,6% de Carbono, de médio teor de Carbono quando possuem de 0,3% a 0,6% de Carbono ou de baixo teor de Carbono, quando possuem um máximo de 0,3%. Os aços de baixo teor de carbono apresentam grande ductilidade e também são ótimas opções para trabalho mecânico e soldagem. Existem também os aços de alta liga (mais de 8% de liga), que apresentam maior resistência mecânica mantendo suas características de soldabilidade e ductilidade. Alguns exemplos de aços carbono estão representados na figura 5.7 do fabricante Gerdau.

O compactador de lixo precisa ser viável economicamente, e portanto grande parte de sua estrutura deverá ser em aço ASTM A36, com algumas exceções a serem analisadas.

5.1.1.2 Aços Inoxidáveis

Ligas à base de ferro contendo pelo menos 12% de cromo são denominadas aços inoxidáveis [5]. A característica mais marcante deste tipo de aço é sua resistência a

inúmeras condições de corrosão, mas também possuem características interessantes como boa resistência mecânica, podem ser fundidos, forjados, usinados, polidos e ligados através de algumas técnicas de soldagem, possuem baixo custo de manutenção, baixa rugosidade superficial entre outras qualidades. São classificados pela sua concentração de Cromo como: Austeníticos (16% de Cromo), Ferríticos (15-30% de Cromo) e Martensíticos (12-17% de Cromo), sendo o primeiro o mais comum e o que apresenta melhores condições de soldabilidade e resistência a corrosão. Alguns aços inoxidáveis Austeníticos estão na figura 5.8.

NORMA	CARACTERÍSTICAS	PRINCIPAIS APLICAÇÕES	PRINCIPAIS PRODUTOS
ASTM A36 / NBR 7007 MR 250	Aço carbono com finalidade de utilização estrutural e em aplicações comuns.	Estruturas metálicas em geral, serralheria, passarelas, máquinas e implementos agrícolas, implementos rodoferroviários.	Cantoneira, Barra Redonda, Barra Quadrada, Barra Chata, Perfil I, Perfil U, Perfil T e Perfil Estrela.
ASTM A572 / NBR 7007 AR 350 ou AR 415	Aço estrutural de baixa liga e alta resistência utilizado em estruturas metálicas a fim de reduzir o peso em virtude de sua maior resistência mecânica se comparado com um aço carbono de uso comum.	Torres de transmissão de energia e de telecomunicações, estruturas metálicas em geral, passarelas, máquinas e implementos agrícolas, implementos rodoferroviários.	Cantoneira e Barra Chata.
*ASTM A588 / NBR 7007 AR 350 COR	Aço estrutural de baixa liga e alta resistência desenvolvido para estruturas metálicas a fim de reduzir o peso em virtude da resistência mecânica mais elevada, com maior resistência à corrosão atmosférica, quando comparado com um aço carbono de uso comum.	Estruturas metálicas em geral, máquinas e implementos agrícolas, implementos rodoferroviários e demais aplicações em que seja necessária proteção adicional contra a corrosão atmosférica aliada a uma maior resistência mecânica.	Cantoneira, Barra Redonda, Barra Chata, Perfil I, Perfil U e Perfil T.

Tabela de Propriedades Mecânicas Referencial					
Propriedades Mecânicas					
Especificação	Equivalência NBR 7007	Limite de escoamento Min. (MPa)	Limite de Resistência (MPa)	Alongamento 200 mm (%)	Alongamento 50 mm (%)
ASTM A36	MR 250	250	400-550	20	21
ASTM A572 Grau 50	AR 350	350	450 min.	18	21
ASTM A572 Grau 60	AR 415	415	520 min.	16	18
ASTM A588	AR 350 COR	350	485 min.	18	21

Figura 5.7: Aços carbono do fabricante GERDAU

Aço	Coeficiente de dilatação térmica médio de 0°C a			Condutividade térmica	
	100°C (µm/m.°C)	315°C (µm/m.°C)	538°C (µm/m.°C)	a 100°C (W/m.K)	a 500°C (W/m.K)
AISI 304	17,2	17,8	18,4	16,2	21,5
AISI 439	10,5	10,7	11,2	24,0	-
AISI 444	10,0	10,6	11,4	26,8	-
AISI 430	11,7	11,9	12,3	24,0	-
Aço	Densidade	Módulo de elasticidade (GPa)	Calor específico (J/kg.K)	Resistividade elétrica (nW.m)	Permeabilidade magnética (aproximada)
AISI 304	8,0	193	500	720	1,02
AISI 439	7,7	215	793	617	-
AISI 444	7,8	200	420	620	-
AISI 430	7,7	193	620	620	-

Figura 5.8: Aços Inoxidáveis [26]

Por serem aços com aspectos econômicos pouco atrativos, os aços inoxidáveis

devem ser utilizados apenas em casos especiais. O assoalho da caçamba estará constantemente em contato com o chorume do lixo, e uma chapa de aço inoxidável garantirá uma vida útil mais elevada do equipamento. [27] realizou um trabalho sobre a corrosão de chorume em três diferentes tipos de aços inoxidáveis, e o mais eficiente foi o AISI 439 após passivação com HNO₃ (40%V/V), portanto, será este o aço utilizando no assoalho da caçamba

5.1.1.3 Aços resistentes a abrasão

Aços resistentes a abrasão são materiais que são tratados para produzir uma resistência superior ao atrito, abrasão, ou impacto de alta velocidade. Geralmente é temperado e revestido durante a produção além de conter elementos na sua composição como o manganês que são utilizados como agentes de endurecimento. A dureza desses aços varia de 350 a 650 Brinell. O fabricante SSAB possui em seu catálogo os aços HARDOX, altamente resistentes a abrasão e com ampla variedade de espessuras de chapas disponíveis. Os aços HARDOX são classificados pelo valor de sua dureza Brinell.

Assim como os aços inoxidáveis, os aços HARDOX possuem elevado custo, inviabilizando o uso em todas as partes do sistema de compactação do lixo. Entretanto, o fundo e as laterais da bacia de carga sofrem um desgaste diferenciado devido ao atrito do lixo empurrado pelo painel transportador, e portanto, será utilizado chapas de aço HARDOX 450 nestes locais, e algumas de suas propriedades podem ser vistas na figura 5.9

Nome do produto	Resistência ao impacto CVL típico Chapa de 20 mm Chapa de 6 mm	Propriedades de dobra transversal t <8 mm R/t	Intervalo de vida útil relativa ¹	CEV/CET ² típico Chapa de 20 mm Lâmina de 6 mm Lâmina CR de 2 mm	Espessura [mm]
Chapa Hardox HiTuf	95 J -40°C ³	N/A	N/A	0,55/0,36 ³	40-160 ⁴
Chapa Hardox 400	45 J -40°C	2,5	1	0,44/0,28	3,2-130 ⁵
Chapa Hardox 400	45 J -40°C	3	1	0,52/0,31	2-8
Chapa Hardox 450	50 J -40°C	3	1,1-4,0	0,48/0,36	3,2-130 ⁵
Chapa Hardox 450	50 J -40°C	3	1,1-4,0	0,52/0,35 ⁶	2,5-8
Chapa Hardox 450 CR	N/A	4	1,1-4,0	0,39/0,31	0,7-2,1
Chapa Hardox 500	37 J -40°C	3,5	1,3-5,6	0,63/0,41	3,2-103 ⁵
Lâmina Hardox 500	37 J -40°C	3,5	1,3-5,6	0,55/0,40	3-6,5 ⁷
Chapa Hardox 550	30 J -40°C	N/A	1,5-8,1	0,72/0,48	10-51 ⁸
Chapa Hardox 600	20 J -40°C	N/A	1,8-12,3	0,65/0,54	8-51 ⁸
Chapa Hardox Extreme	<15 J -40°C	N/A	2,4-17,9	0,68/0,59 ^{8a}	8-19 ⁹

Figura 5.9: Aços Hardox do fabricante SSAB

5.2 Estrutura da Caçamba

A caçamba será a estrutura que armazenará os resíduos compactados, esta deverá resistir a algumas forças estáticas, como a pressão realizada pelo lixo contra as paredes de aço e o peso da porta traseira, e a forças dinâmicas, como as forças laterais e torcionais causadas pelas curvas realizadas pelo chassi ou por estradas acidentadas.

5.2.1 Longarina

O primeiro componente da caçamba a ser dimensionado deve ser a longarina, uma viga de aço colocada longitudinalmente na caçamba e que transfere todo o peso do coletor para o chassi, que por sua vez é estruturado para receber estes esforços. O compactador deverá possuir duas longarinas que se acomodem perfeitamente sobre as duas longarinas do chassi selecionado, evitando possíveis deformações desiguais causadas por cisalhamento (figura 5.10), tanto nas longarinas do chassi quanto nas do compactador.

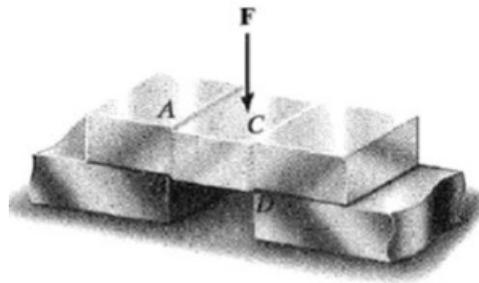


Figura 5.10: Deformações por cisalhamento

A longarina do chassi Worker 17230 está representada na figura 5.11, sendo $C=70\text{mm}$, $D=241\text{mm}$ e $E=9,7\text{mm}$. Portanto, a largura da longarina do coletor será $C+E= 80\text{mm}$.

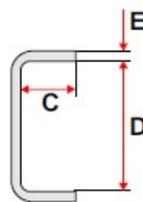


Figura 5.11: Longarina do chassi Worker 17230

Visando agregar pouco peso ao equipamento, as longarinas do coletor serão tubos de seção retangular. Segundo o manual de implementação do chassi selecionado [10], é necessário que exista uma altura (A) no projeto de 240mm entre a superfície superior da longarina do chassi e a superfície inferior do implemento (ou superfície

superior da longarina do implemento), porém, o tubo comercial que mais se assemelha as dimensões citadas é o do fabricante [28] de 200x80mm, tornando-se necessário o uso de espaçadores de elastômero entre as longarinas. A espessura da parede da longarina foi definida como 6mm por ser o maior valor disponível. Embora a longarina seja pouco solicitada quanto às cargas estáticas, esta terá que possuir diversos concentradores de tensões para que seja possível instalar as fixações com o chassi.

5.2.2 Piso

Diversas forças dinâmicas aparecem quando o veículo é posto em movimento, principalmente em condições irregulares da estrada. Duas forças são bastante relevantes para veículos deste tipo, as forças laterais e torcionais que estão representadas na figura 5.12

A fim de minimizar o efeito provocado por estas forças, os chassis apresentam travessas transversais às longarinas, que garantem estabilidade e rigidez à estrutura. Portanto, o mesmo será realizado com o coletor que terá travessas de aço soldadas transversalmente as longarinas. Estas travessas também servirão de apoio para as duas chapas de aço inoxidável AISI 439 que serão o assoalho da caçamba.

Uma análise em elementos finitos pelo software *Solidworks* foi realizada visando verificar o comportamento da estrutura do piso sob ação do peso próprio da caçamba e do peso do lixo. Uma força igualmente distribuída de 160000N está agindo sobre as chapas do assoalho, as faces inferiores da longarina estão totalmente fixas e as informações da malha estão na figura 5.13, sendo importante observar o refinamento da malha nos filetes de solda para que os resultados não sejam distorcidos por possíveis cantos vivos na modelagem.

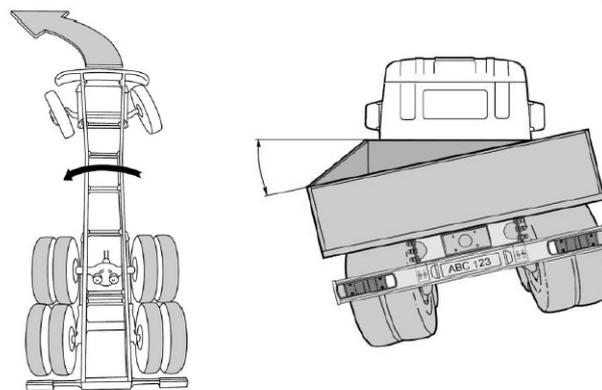


Figura 5.12: Forças laterais e torcionais

Pelos resultados expostos na figura 5.14, a tensão máxima de Von Mises encontrada foi de aproximadamente 140Mpa. Para que o fator de segurança seja igual

ou maior do que 2, será utilizado aço laminado a frio, pois seu limite de escoamento chega a 350MPa. Embora a figura 5.14 mostre alguns pontos de falha de convergência, a análise parece satisfatória.

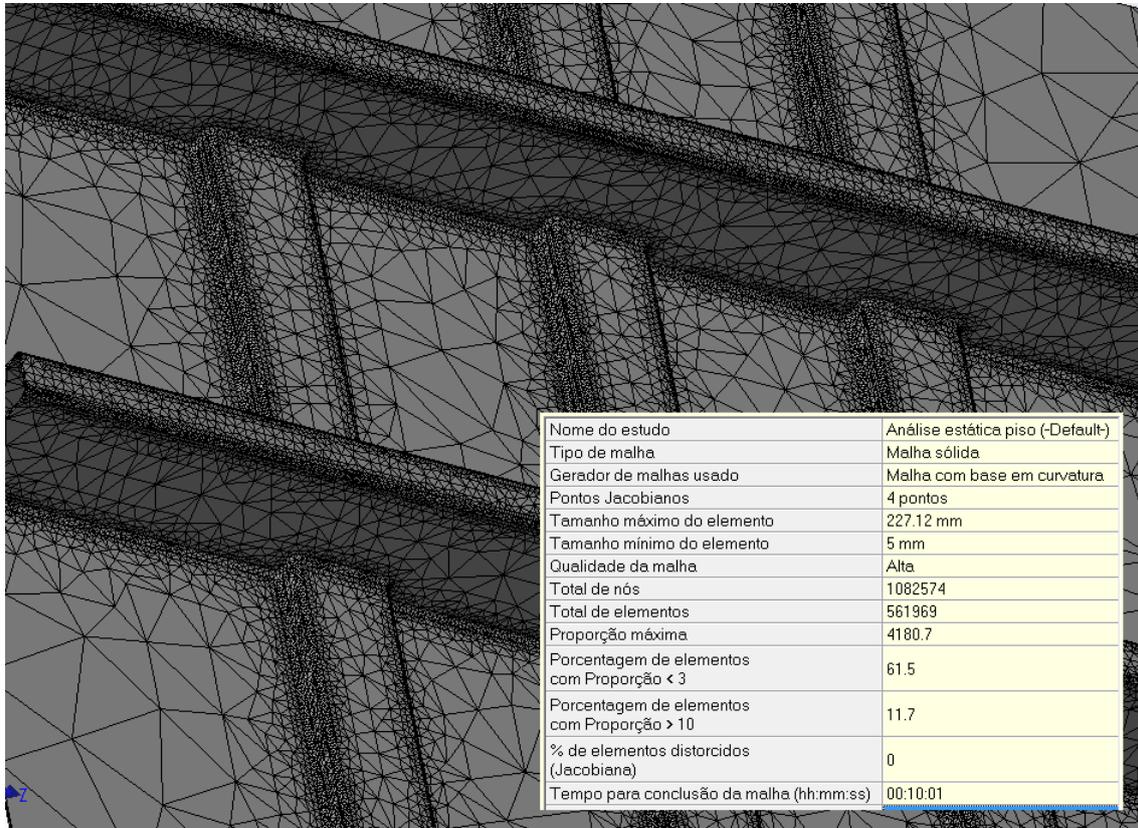


Figura 5.13: Malha utilizada na simulação do piso

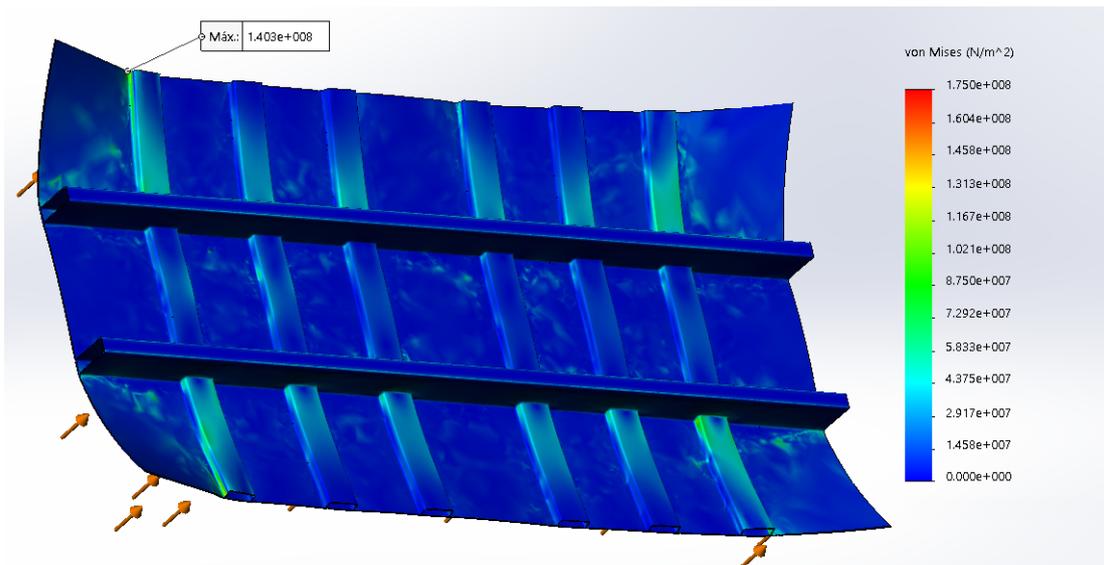


Figura 5.14: Tensões na estrutura do piso da caçamba - Vista deformada

5.3 Elementos de fixação no chassi

A fixação do implemento no chassi deve absorver os esforços que podem ocorrer entre os corpos, além de prender o equipamento no chassi transversalmente e longitudinalmente. A estrutura de caminhões de coleta de lixo é considerada rígida a extra rígida à torção [29], então, é importante que a parte da frente do equipamento seja fixada com elementos que não limitem totalmente o movimento de torção do chassi, pois assim, um certo movimento entre os corpos reduz as oscilações e aumenta o conforto em superfícies irregulares. Já a parte traseira do veículo (a partir do ponto onde se localiza o CG) deverá ser fixada com fixações rígidas, que permitam que a longarina do coletor e do chassi funcionem como um único elemento e suportem então as grandes cargas sofridas. As fixações foram então selecionadas de acordo com a instrução das montadoras Mercedes-Benz [9], Volkswagen [10] e Iveco [30], elas serão soldadas na longarina do compactador de lixo e aparafusadas na longarina do chassi 5.15.

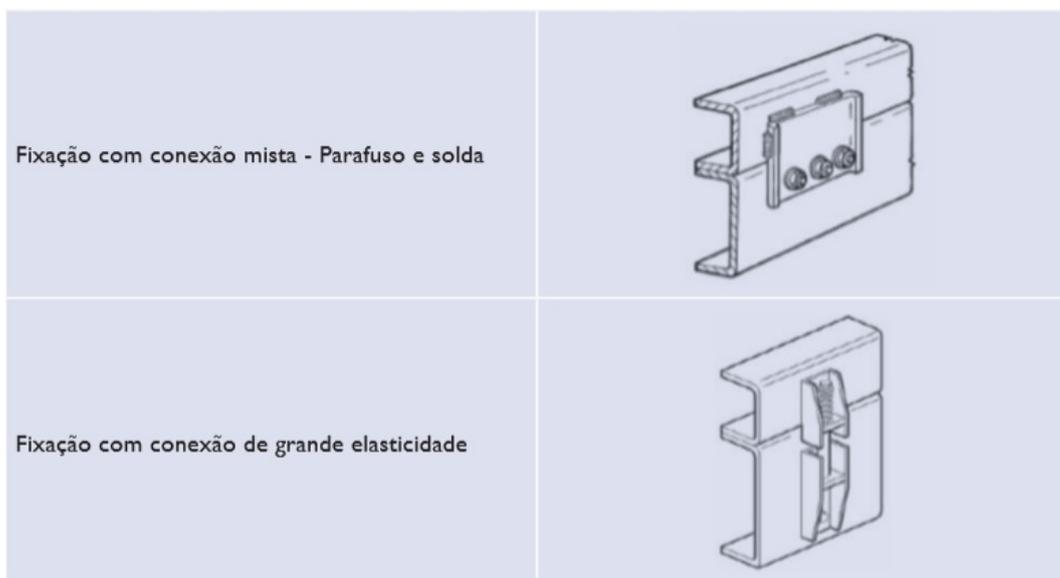


Figura 5.15: Fixações escolhidas[30]

5.3.1 Paredes

As paredes da caçamba serão modeladas como segmentos cilíndricos de aproximadamente 7,5m de raio. Supondo que a pressão dos resíduos no interior da caçamba seja 1/3 (valor típico) da pressão de compactação na placa transportadora, visto que existem inúmeros "vazios" no interior dos resíduos sólidos, pode-se dimensionar a parede da caçamba como um vaso de pressão interna 100kPa. Sendo assim:

$$\sigma_1 = \frac{P.r}{t} , \sigma_2 = \frac{P.r}{2t} \quad (5.6)$$

Para chapas de 4mm de espessura:

$$\sigma_1 = 187,5MPa , \sigma_2 = 93,8MPa \quad (5.7)$$

Que resulta em $\sigma_{adm}=162,4MPa$ pela equação 5.4. Portanto:

$$FS = \frac{250MPa}{162MPa} = 1,54 \quad (5.8)$$

Este valor é satisfatório segundo a tabela da figura 5.6, logo, serão utilizadas chapas de aço A36 com espessura de 4mm nas paredes da caçamba, como ilustrado na figura 5.16.

5.4 Vigas e colunas

Na estrutura do equipamento, é possível identificar algumas regiões que são criticamente afetadas pelas forças de compactação, ou pelo peso próprio do material do equipamento, e portanto serão analisadas neste trabalho.

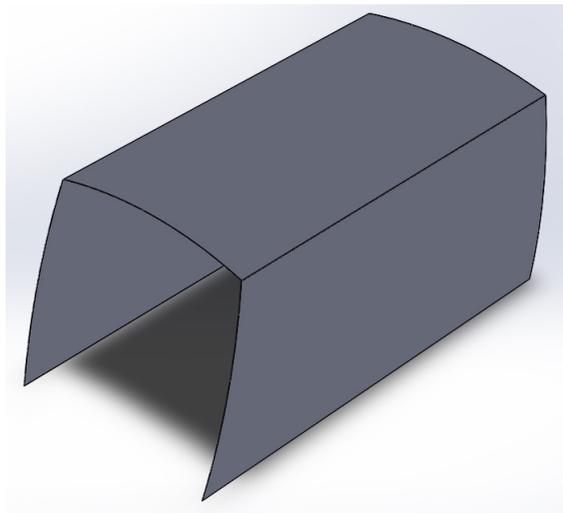


Figura 5.16: Chapas das paredes da caçamba

5.4.1 Coluna da caçamba

Além da pressão interna do lixo nas paredes da caçamba, os cilindros de levantamento agirão na região da entrada do lixo, realizando grande força para sustentar a porta. Serão dimensionadas então duas colunas na seção de entrada da caçamba e entre elas uma viga acima do teto.

De acordo com as dimensões iniciais estimadas e considerando a altura do piso, a coluna terá aproximadamente 200cm de comprimento e para facilitar a soldagem nas paredes, será uma viga com perfil U. Como será soldada em outros perfis de sustentação, foi modelada como uma coluna hiperestática engastada nos dois lados, conforme a figura 5.17, e visando simplificar os cálculos, será considerado flexão pura nas regiões onde o momento fletor é máximo.

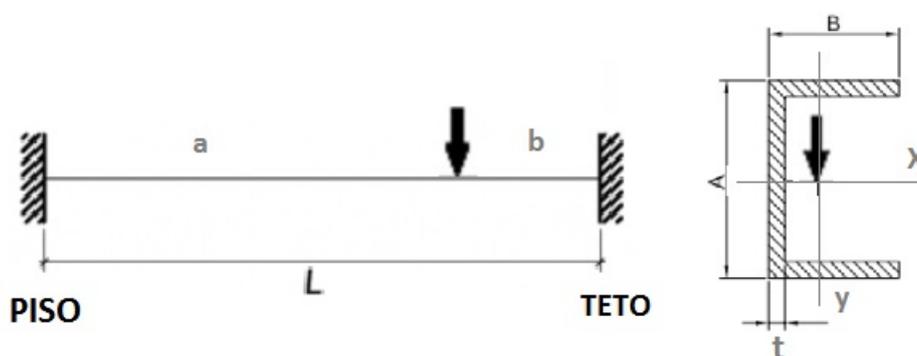


Figura 5.17: Modelo da coluna lateral - Força do cilindro de levantamento

Primeiramente, analisa-se os esforços originados pelo cilindro de levantamento da porta. Na seção 4.4.3, foi definido que o cilindro será fixado a uma distância de 50cm do teto, e que a força do cilindro de levantamento será de 90080N a um ângulo de 50° com a horizontal. Utilizando somente a componente perpendicular ao eixo da viga para flexão pura onde o momento fletor é máximo, tem-se de acordo com a fórmula de [5] para o modelo da figura 5.17

$$M_{fmax} = \frac{F_{Ylevant} a^2 b}{L^2} = \frac{90080 * \cos(50^\circ) * 150^2 * 50}{200^2} = 1628502 N.cm \quad (5.9)$$

Pela fórmula da flexão simples e para um Fator de segurança de 2:

$$W_{xmin} = \frac{M_{fmax}}{\frac{\sigma_e}{FS}} = \frac{1628502}{\frac{12500}{2}} = 1628502 / 6250 = 260,56 cm^3 \quad (5.10)$$

Todavia, esta coluna também sofrerá ação da pressão do lixo, no sentido de abrir as chapas da parede da caçamba, e o esforço decorrente desta força precisa ser analisado. Para a pressão interna de 100kPa, a coluna pode ser novamente modelada como na figura 5.18, e [5] fornece a seguinte fórmula:

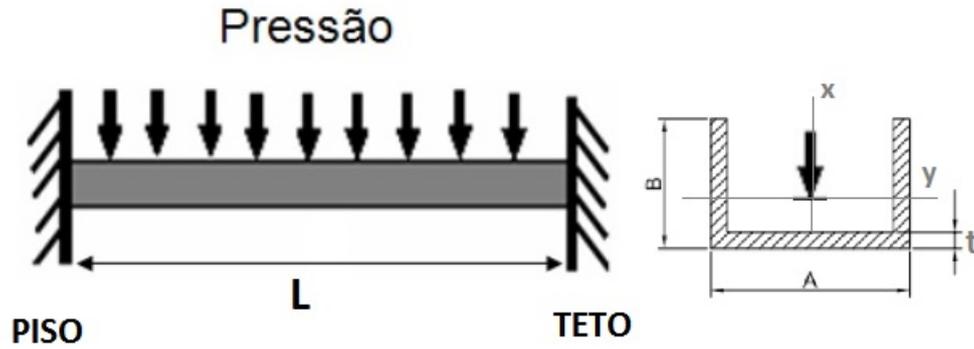


Figura 5.18: Modelo da coluna lateral

$$M_{fmax} = \frac{wL^2}{12} \quad (5.11)$$

Sendo w a força por unidade de comprimento, ou seja, a pressão em N/cm^2 ($10N/cm^2$) vezes o comprimento da alma do perfil A em cm .

$$M_{fmax} = \frac{10A * 200^2}{12} = 33333A \frac{N}{cm} \quad (5.12)$$

Utilizando a fórmula de flexão simples do início do capítulo e com um fator de segurança de 2:

$$W_{ymin} = \frac{M_{fmax}}{\sigma_{adm}} = \frac{M_{fmax}}{\frac{\sigma_e}{FS}} = 33333A/12500 = 2,7A \quad (5.13)$$

A tabela 5.1 foi construída utilizando valores comerciais dos perfis em U disponíveis em [5].

Tabela 5.1: Seleção do perfil da coluna

A (mm)	t (mm)	B (mm)	W_x (cm ³)	W_y (cm ³)	m(kg/m)	W_{ymin} (cm ³)
76	5,1	38	19,46	4,07	6,7	20,27
102	6,1	51	40,89	8,16	10,42	27,20
127	6,4	64	75,99	15,25	14,9	33,87
152	6,4	76	111,8	21,05	17,88	40,53
152	7,1	89	153	35,7	23,84	40,53
178	6,6	76	150,4	24,72	20,84	47,47
178	7,6	89	197,2	39,29	26,81	47,47
203	7,1	76	192	27,59	23,82	54,13
203	8,1	89	245,2	42,34	29,78	54,13
229	7,6	76	228,3	28,22	26,06	61,07
229	8,6	89	296,4	44,82	32,76	61,07

Conforme visto na tabela , os valores requeridos do módulo de seção em y de

cada perfil de viga estão demasiadamente altos. Para solucionar tal questão, será colocado mais uma viga junto ao teto da caçamba, isto terá como efeito prático reduzir o comprimento efetivo da coluna L, posicionando o engaste do teto para mais próximo do engaste do piso, ou seja, agora L será igual a 150cm (a viga se posicionará 5 cm acima da fixação do cilindro) Logo:

$$M_{fmax} = \frac{10A * 150^2}{12} = 18750A \frac{N}{cm} \quad (5.14)$$

$$W_{ymin} = \frac{M_{fmax}}{\sigma_{adm}} = \frac{M_{fmax}}{\frac{\sigma_e}{FS}} = 18750A/12500 = 1,5A \quad (5.15)$$

Agora, pode-se selecionar o perfil que atenda aos dois módulos de seção mínimos. A viga selecionada então é a 152mmx89mm, com módulos de seção $W_x = 153cm^3$ e $W_y = 35,5cm^3$, que são maiores que os exigidos $W_{xmin} = 130,28cm^3$ e $W_{ymin} = 22,8cm^3$. Pode-se recalculas as tensões para o perfil selecionado a fim de verificar o fator de segurança para a tensão de Von Mises, assim:

$$\sigma_x = \frac{M_{fxmax}}{W_x} = \frac{1628502}{153} = 106,5MPa \quad (5.16)$$

$$\sigma_y = \frac{M_{fymax}}{W_y} = \frac{292500}{35,7} = 81,9MPa \quad (5.17)$$

Pela fórmula 5.4, a tensão equivalente de Von mises é:

$$\sigma_{equivo} = \sqrt{106,5^2 + 81,9^2} = 135,9 \quad (5.18)$$

Que resulta em um fator de segurança de 2,6. Por simplicidade, este perfil será utilizado também no teto da caçamba e no reforço lateral citado. O conjunto está ilustrado na figura 5.19.

5.4.2 Viga de sustentação da porta traseira

O conjunto da porta traseira possui praticamente todo o sistema de compactação e precisa ser içado no momento da montagem com a caçamba, portanto, precisa possuir um elemento que aguente os esforços do peso próprio da porta. Será utilizado então uma viga de sustentação no topo da porta. Desta vez, será utilizado um perfil de tubo retangular, pois a faces planas do perfil auxiliarão a soldagem dos olhais onde serão inseridos os elementos de fixação porta-caçamba. A viga será soldada nas faces laterais da porta, e portanto pode ser modelada como na figura 5.20

Com bases no dimensionamento inicial, a viga terá aproximadamente 210cm de

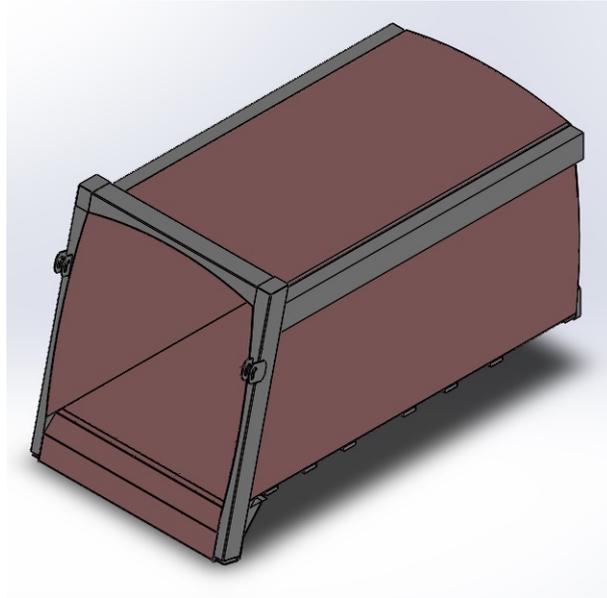


Figura 5.19: Colunas e vigas da caçamba em cinza

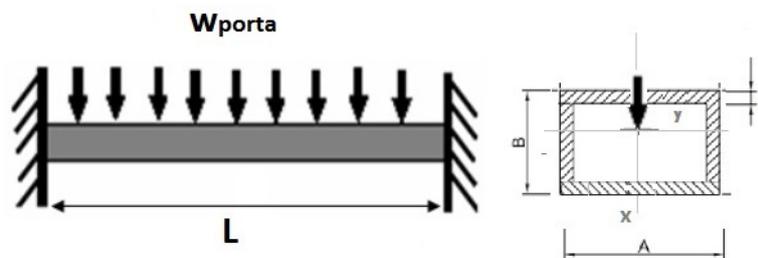


Figura 5.20: Modelo da viga de sustentação da porta

comprimento, e conforme já estimado, a porta deve pesar aproximadamente 3500Kg (34370N). Logo:

$$M_{fmax} = \frac{wL^2}{12} = \frac{34370}{210} * 210^2 = 601475 N.cm \quad (5.19)$$

Então, novamente para FS=2 encontra-se o módulo de seção mínimo:

$$W_{ymin} = \frac{M_{fmax}}{\sigma_{adm}} = \frac{M_{fmax}}{\frac{\sigma_e}{FS}} = 601475/12500 = 48,12 cm^3 \quad (5.20)$$

Utilizando o catálogo do fabricante [28], o perfil selecionado é o tubo de 120x80mm com espessura de parede de 4,25mm e módulo de seção 61,2cm³, que fornecerá um fator de segurança de aproximadamente 2,54. Através do software *Solidworks*, buscou-se alinhar os eixos principais de inércia, para que durante o içamento da porta, não ocorra a torção da viga 5.21.

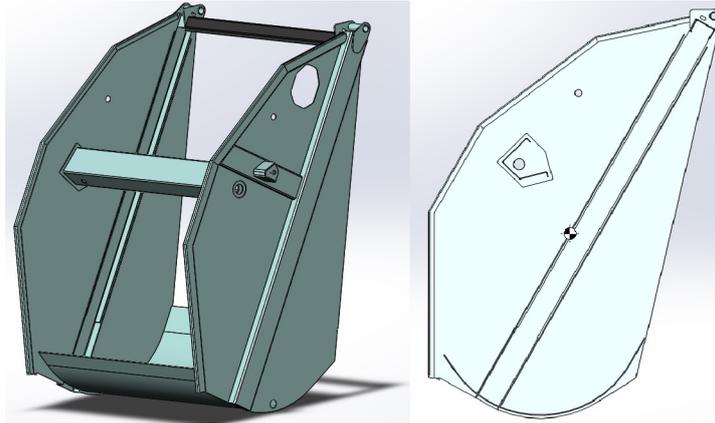


Figura 5.21: Viga de sustentação da porta

5.4.3 Viga dos cilindros compactadores

Um elemento fundamental a ser dimensionado neste equipamento é a viga de fixação dos cilindros compactadores. Inúmeros equipamentos utilizam os cilindros compactadores invertidos e fixos na viga de sustentação da porta, porém, estes requerem um circuito hidráulico mais complexo, além da força de compactação ser realizada no sentido do retorno do cilindro.

O perfil desta viga não será comercial e pode ser desenhado de forma a permitir a rotação dos cilindros compactadores sem causar interferência na viga. Chegou-se a uma variação do perfil U com uma das abas anguladas, e verificando as dimensões do cilindro selecionado, a medida da alma deve ser de no mínimo 150mm e o ângulo de abertura foi calculado como na figura 4.6 do capítulo 3, ou seja, $\beta - \phi = 25,7^\circ$. A viga pode ser modelada como bi engastada, e devido à simetria do modelo, será analisado somente metade de seu comprimento (figura 5.22).

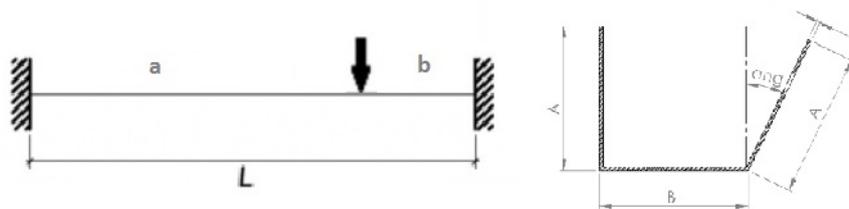


Figura 5.22: Viga dos cilindros compactadores

É importante observar que o perfil não é mais simétrico e que a viga sofrerá cargas em diferentes direções. Alguns perfis de viga com as restrições citadas foram simulados no software *Solidworks* e verificou-se que o ângulo entre os eixos principais da seção e os eixos da peça variam somente entre 0 e 5 graus, então, considerando o pior caso quando o cilindro compactador está totalmente aberto, exercendo sua força máxima, e toda a força de compactação está no sentido do eixo principal, pode-se

aproximar a solução deste caso pela solução de flexão pura simétrica. Sendo assim:

$$M_{fmax} = \frac{F_{compact} a^2 b}{L^2} = \frac{228018 * 90^2 * 15}{105^2} = 2512851 N.cm \quad (5.21)$$

Pela fórmula da flexão simples e para um Fator de segurança de 2:

$$W_{zmin} = \frac{M_{fmax}}{\sigma_{adm}} = \frac{2512851}{\frac{\sigma_e}{FS}} = 2512851 / 12500 = 201 cm^3 \quad (5.22)$$

Diversos valores foram simulados para fornecer $W_{zmin} = 201 cm^3$, chegando ao perfil da figura 5.23, que possui $W_z = 230 cm^3$ E $W_y = 664 cm^3$

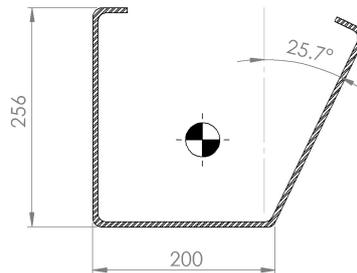


Figura 5.23: Viga dos cilindros compactadores escolhida

5.5 Eixos de fixação

Eixos geralmente são peças que são utilizadas para apoiar componentes de máquinas que podem ser fixadas a elas ou serem móveis. Quando curtos e sem a função principal de transmitir torque, também são chamados de pinos. Neste trabalho, serão dimensionados os eixos mais críticos do equipamento, os eixos de articulação dos cilindros e dos painéis. Para isto, é apresentado na figura 5.24 o diagrama das forças de compactação do mecanismo sob os eixos.

Primeiramente, será analisado o eixo de fixação do cilindro compactador no painel compactador (figura 5.26), este sofre ação somente da componentes da força de compactação e F_{cy} , visto que o painel tem liberdade para se movimentar na direção pista de guia. No caso crítico esta componente vale 186781N (força máxima de 228018 em um ângulo de 55° , com o cilindro ainda fechado). Para eixos em flexão simples, tem-se, de acordo com a figura 5.25:

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W} \quad (5.23)$$

Utilizando valores definidos pela modelagem da construção no software *Solidworks* da figura 5.26:

$$\sigma_{f_{AA}} = \frac{186781 * 90}{4W} \quad (5.24)$$

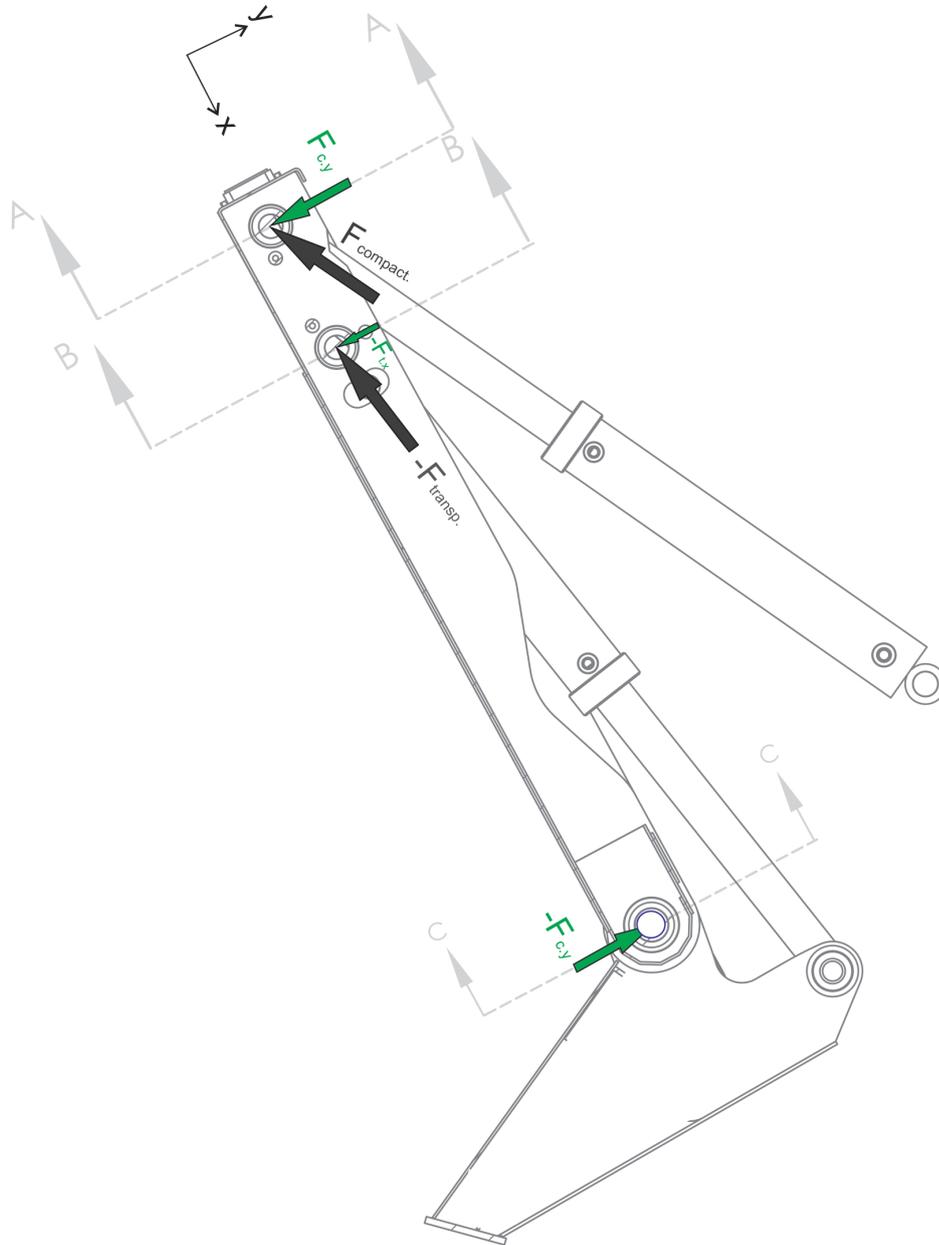


Figura 5.24: Forças nos eixos de articulação dos painéis

Para um fator de segurança de 2 e material do eixo aço ASTM A36:

$$W_{min_{AA}} = \frac{186781N * 90mm}{4 * 125Mpa} = 33cm^3 \quad (5.25)$$

No eixo que liga o cilindro transportador ao painel compactador, representado na figura 5.27 a análise será a mesma, porém, com a força do cilindro transportador trabalhando na pressão de rejeição calculada na seção anterior, e com o cilindro

totalmente aberto.

$$F_{ty} = 291357 * \text{sen}(25^\circ) = 123133N \quad (5.26)$$

Logo,

$$\sigma_{f_{BB}} = \frac{123133 * 90}{4W} \quad (5.27)$$

Para um fator de segurança de 2:

$$W_{min_{BB}} = \frac{123133N * 90mm}{4 * 125Mpa} = 22,2cm^3 \quad (5.28)$$

Por último, é analisado o eixo de ligação entre o painel compactador e o transportador (figura 5.28), que devido a aspectos construtivos, terá seus apoios mais afastados, e sofrendo ação da mesma força F_{cy} .

$$\sigma_{f_{CC}} = \frac{186781 * 200}{4W_f} \quad (5.29)$$

Portanto:

$$W_{min_{CC}} = \frac{186781N * 200mm}{4 * 125Mpa} = 74,7cm^3 \quad (5.30)$$

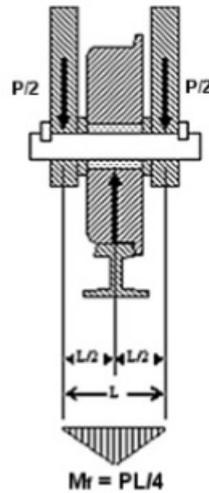


Figura 5.25: Eixos em flexão simples

A partir dos módulos de resistência à flexão mínimos, seleciona-se diâmetros comerciais de barras de aço. A tabela 5.2 resume os dados obtidos.

Tabela 5.2: Eixos selecionados

Eixo	Wmin (cm ³)	W selecionado (cm ³)	D selecionado (mm)	FS
Seção AA	33	33,47	69,85	2,03
Seção BB	22,2	23,4	62	2,11
Seção CC	74,7	76,45	92	2,05

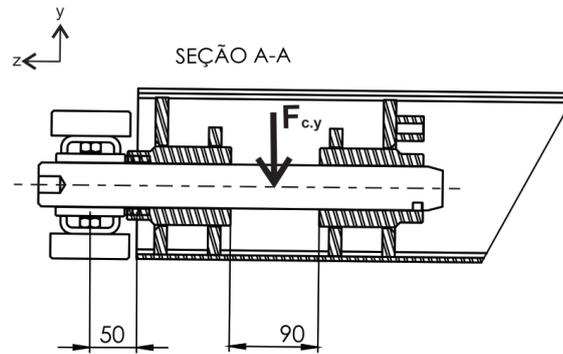


Figura 5.26: Eixo de fixação do cilindro compactador no painel compactador

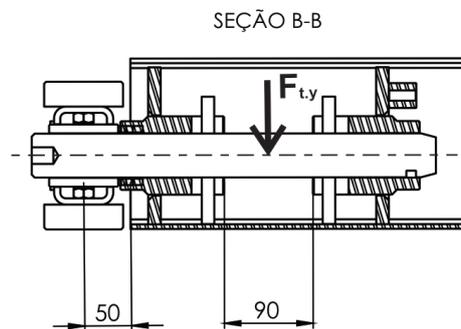


Figura 5.27: Eixo de fixação do cilindro transportador no painel compactador

Já no painel Ejetor, o eixo analisado será o que liga o painel ao cilindro ejetor. Este será modelado para uma força de flexão igual a duas vezes a força de cada cilindro compactador, ou seja $228018\text{N} * 2 = 456036\text{N}$. A distância entre os apoios foi modelada como 60mm e portanto:

$$W_{min_{ejetor}} = \frac{456036\text{N} * 60\text{mm}}{4 * 125\text{Mpa}} = 54,7\text{cm}^3 \quad (5.31)$$

Sendo o eixo selecionado o de diâmetro 82,55mm, que fornece um W de 55,24 cm³.

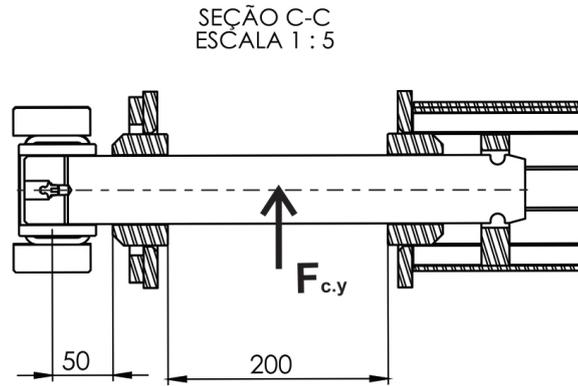


Figura 5.28: Eixo de articulação entre os painéis

5.6 Distribuição de cargas

Conforme dito no Capítulo 3 deste trabalho, após o dimensionamento completo do equipamento, é necessário verificar a distribuição dos pesos nos eixos do chassi, para que sejam garantidas as condições ideais de dirigibilidade e segurança do veículo. Visando compreender a contribuição do compactador nesta distribuição de pesos, será feito aqui análises discriminadas do chassi, do compactador vazio, da carga de lixo e do conjunto completo, pois desta maneira é possível direcionar eventuais mudanças de projeto para melhorar aderência do veículo.

5.6.1 Chassi

A montadora Volkswagen fornece em seu manual de implementação, os pesos dos modelos de chassi assim como a distribuição nos eixos dianteiro e traseiro. Como o veículo terá um terceiro eixo que não será de fábrica, as informações utilizadas aqui serão do chassi Worker 23230, 6x2 com entre eixos de 4784mm, que possui características semelhantes ao 17230 e portanto deve fornecer uma boa aproximação. Os dados disponíveis estão presentes na tabela 5.3.

Como a distribuição do peso nos eixos do chassi é fornecida, basta calcular a posição do CG do chassi a partir do eixo dianteiro. Para que seja possível fazer uma análise estática e calcular esta posição, a partir daqui será considerado o eixo traseiro e o terceiro eixo como um apoio só, localizado na posição média dos eixos originais, conforme a figura 5.29.

Sendo assim, para o chassi no equilíbrio:

$$\sum Md = M_{chassi} * CG_{Chassi} - ET_{chassi} * 4172 = 0 \quad (5.32)$$

Utilizando os dados da tabela 5.3:

$$CG_{chassi} = \frac{2930 * 4172}{6410} = 1907mm \quad (5.33)$$

Tabela 5.3: Distribuição de peso do chassi

Modelo	Entre-eixos	Peso Chassi (kg)		
		ED	ET	TOTAL
Worker 23230	4784	3480	2930	6410

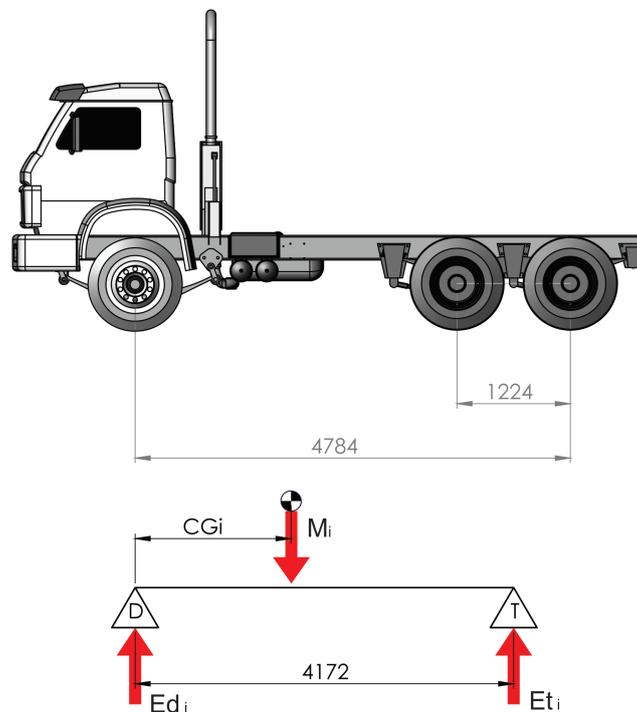


Figura 5.29: Modelo de distribuição de cargas nos eixos

5.6.2 Compactador

Com auxílio do software *Solidworks*, foi possível modelar o equipamento em 3D e obter valores de massa do equipamento assim como a posição de seu CG, sendo utilizado o eixo dianteiro como a origem do sistema. Os valores obtidos foram: $CG_{compact} = 4141mm$, $M_{compact} = 5895kg$. Da mesma forma que foi feito para o chassi, no equilíbrio tem-se:

$$\sum Md = M_{compact} * CG_{compact} - ET_{compact} * 4172 = 0 \quad (5.34)$$

Substituindo os valores encontrados no software:

$$ET_{compact} = \frac{5895 * 4141}{4172} = 5851kg \quad (5.35)$$

e portanto:

$$ED_{compact} = M_{compact} - ET_{compact} = 44kg \quad (5.36)$$

5.6.3 Carga de lixo

Utilizando o mesmo método do compactador, foi modelado um volume de lixo no software, preenchendo todos os espaços vazios do caçamba e utilizando um material de massa específica $600kg/m^3$.

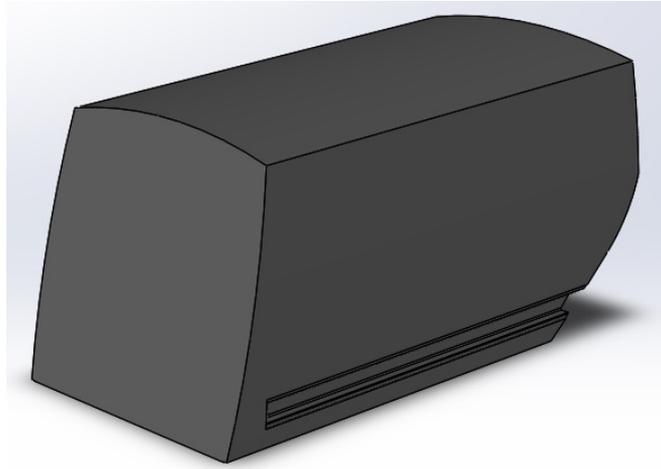


Figura 5.30: Volume de lixo criado

Para este sólido da figura 5.30, encontrou-se: $CG_{lixo} = 3558mm$, $M_{lixo} = 10781kg$. Realizando novamente os cálculos do equilíbrio:

$$\sum Md = M_{lixo} * CG_{lixo} - ET_{lixo} * 4172 = 0 \quad (5.37)$$

$$ET_{lixo} = \frac{10781 * 3558}{4172} = 9194kg \quad (5.38)$$

$$ED_{lixo} = M_{lixo} - ET_{lixo} = 1586kg \quad (5.39)$$

5.6.4 Conjunto

Com a contribuição do peso de cada componente das seções acima, pode-se estimar a distribuição de peso nos eixos de todo o conjunto, vazio ou carregado

de lixo, bastando somar a parcela de cada item. A tabela 5.4 resume os valores encontrados.

Tabela 5.4: Distribuição de peso nos eixos

Item	ED (kg)	ET (kg)	Total (kg)	CG (mm)
Chassi	3480	2930	6410	1907
Compactador	44	5851	5895	4141
Conjunto vazio	3524	8781	12305	2977
Carga	1586	9194	10780	3558
Conjunto cheio	5110	17975	23085	3249

Utilizando o conceito de aderência do manual do implementador, $AD = \frac{ED}{M_{total}}$, verifica-se que a aderência do conjunto vazio é de 28,6% e do conjunto completo com o lixo é de 22%. As montadoras geralmente definem 20% como mínimo de segurança para veículos 6x2, e portanto o veículo se encontraria em condições de dirigibilidade em qualquer momento da coleta.

Capítulo 6

Considerações finais

Conforme dito anteriormente, neste capítulo serão apresentadas as principais conclusões e observações sobre o equipamento estudado. Após o dimensionamento hidráulico completo, e a abordagem de aspectos da estrutura, pode-se resumir as características obtidas do equipamento como na seção subsequente.

6.1 Resultados

- **Capacidade do coletor** - 19m^3 .
- **Chassi** - Worker 17230, caixa de marchas EATON FS-6406A com tomada de força de razão de transmissão de 1,38, 6X2, PBT máximo de 23 toneladas e distância entre eixos de 4800mm.
- **Dimensões máximas do equipamento** - 8920mm de comprimento X 2600mm de largura X 3530mm de altura.
- **Cilindros Compactadores e transportadores** - 5" de diâmetro do êmbolo, 3" de diâmetro da haste, curso de 24" e tubo de parada de 25mm.
- **Cilindros de levantamento** - 3,5" de diâmetro do êmbolo, 1 3/4" de diâmetro da haste, curso de 32".
- **Cilindro ejetor** - Telescópico de 4 estágios, com diâmetros de 5,75" x 4,75" x 3,75" x 2,75" e curso de 125"
- **Bomba hidráulica** - Bomba de palhetas Eaton 35VQ38 com $121,6\text{cm}^3$ de deslocamento
- **Tempo do ciclo de compactação** - 19 s
- **Tempo do ciclo de ejeção** - 35 s

- **Fator de segurança médio da estrutura - 2**
- **Compactação estimada - 3:1**
- **Massa do coletor - 5895kg**
- **Massa de lixo estimada - 10780kg**
- **Aderência do conjunto - 22%**

6.2 Conclusões

Tendo em vista o objetivo de analisar os principais fatores de projeto e de seleção de peças no compactador de lixo, pode-se dizer que este foi alcançado.

Se levarmos em conta a importância e a constante presença dos compactadores de lixo no dia a dia da sociedade, observa-se que existe pouco material disponível sobre este equipamento, o que torna uma análise como a que foi feita bastante desafiadora. Outro aspecto que torna o projeto deste equipamento algo complicado, é a baixa precisão das características dos resíduos sólidos, o que pode levar ao dimensionamento equivocado de diversas partes do coletor.

Com exceção do esqueleto do equipamento, todos os componentes hidráulicos analisados aqui tem caráter comercial e são facilmente encontrados no mercado, o que garantiria a fácil reposição das peças do equipamento em caso de falha, e aumentaria a disponibilidade técnica do equipamento.

Referente aos resultados apresentados do equipamento deste trabalho, pode-se destacar que este possui uma bomba de maior deslocamento e cilindros compactadores com êmbolos maiores do que os equipamentos presentes no mercado, o que pode levar ao questionamento da razão de compactação dos equipamentos atuais de coleta de lixo, e portanto, de suas eficiências. As características da performance obtidas aqui, e principalmente a massa total de lixo calculada pelo software *SolidWorks* se igualam ou superam os equipamentos atuais do mercado, porém, não foi levado em conta aspectos econômicos, algo que poderia reduzir a competitividade ou até mesmo inviabilizar o equipamento apresentado aqui.

6.3 Propostas de trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, pode-se sugerir uma análise mais detalhada dos esforços gerados na estrutura. Uma análise por fadiga dos componentes pode ser considerável, assim como uma análise das cargas dinâmicas no conjunto coletor chassi. Neste trabalho foi considerado apenas uma análise qualitativa a respeito da emissão de ruídos do conjunto durante a seleção da tomada de força, e um trabalho mais

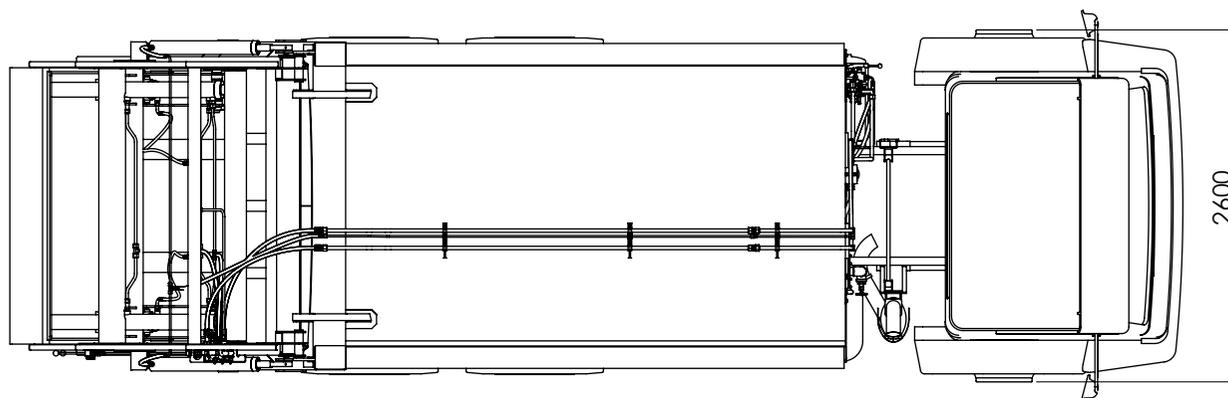
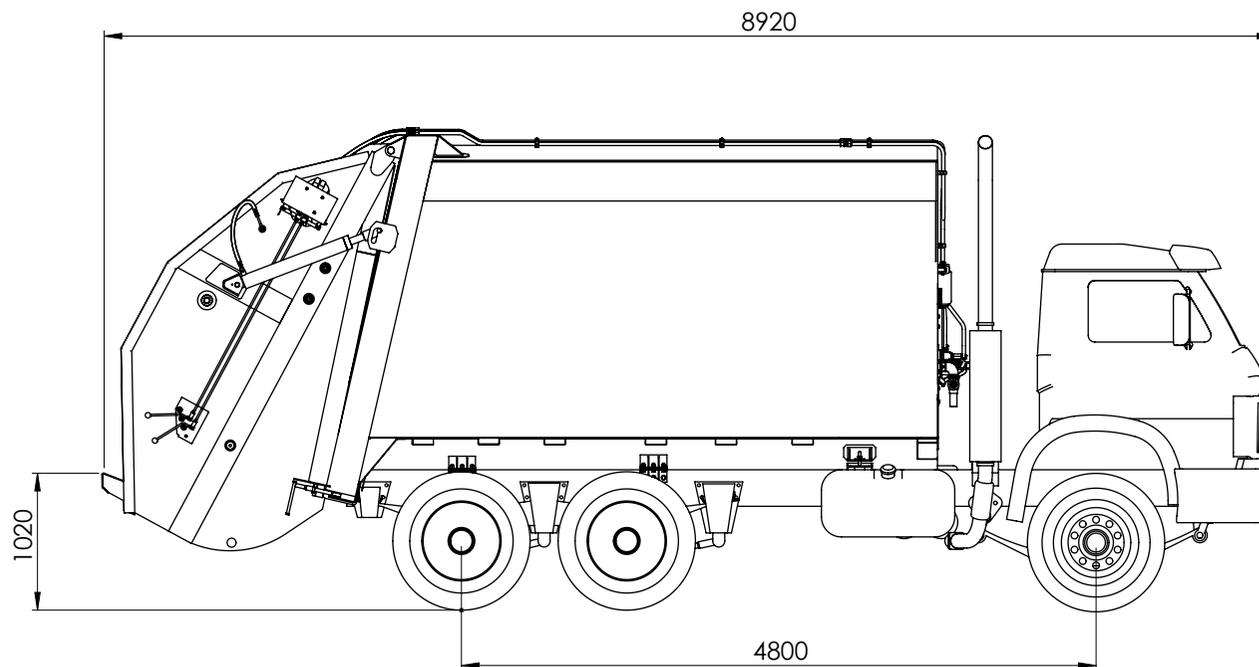
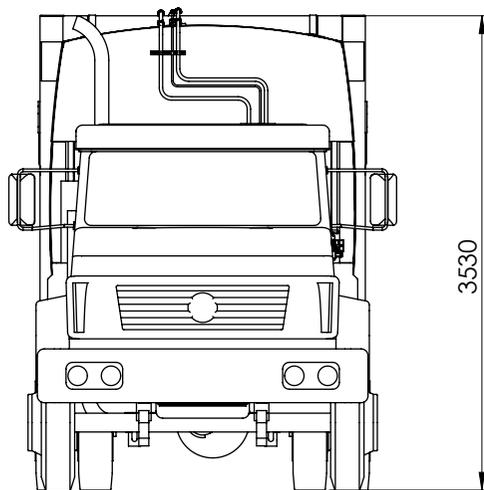
detalhado a respeito deste problema pode ser de grande contribuição. Os componentes deste equipamento são bastante exigidos e trabalham em condições pouco favoráveis, portanto, uma pesquisa sobre a manutenção do equipamento pode aumentar a disponibilidade técnica e reduzir o custo com peças de reposição.

Referências Bibliográficas

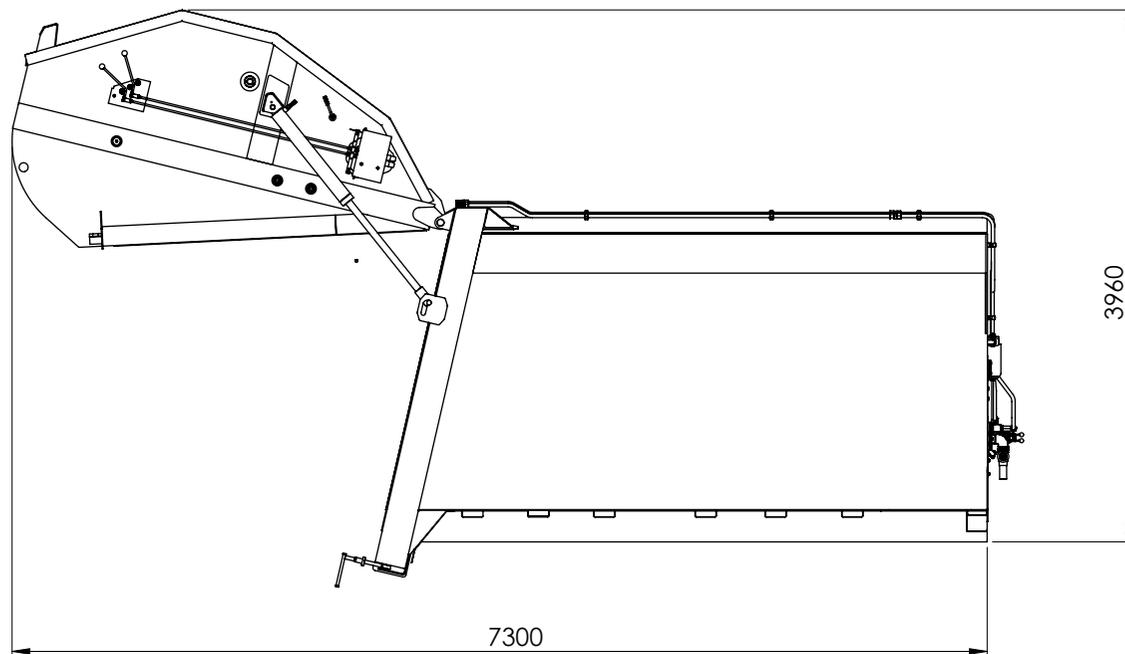
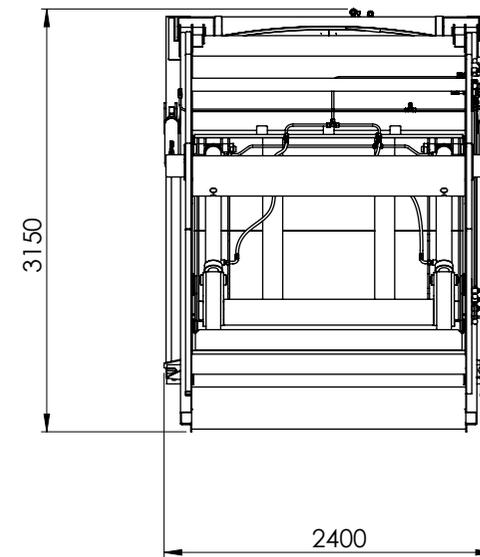
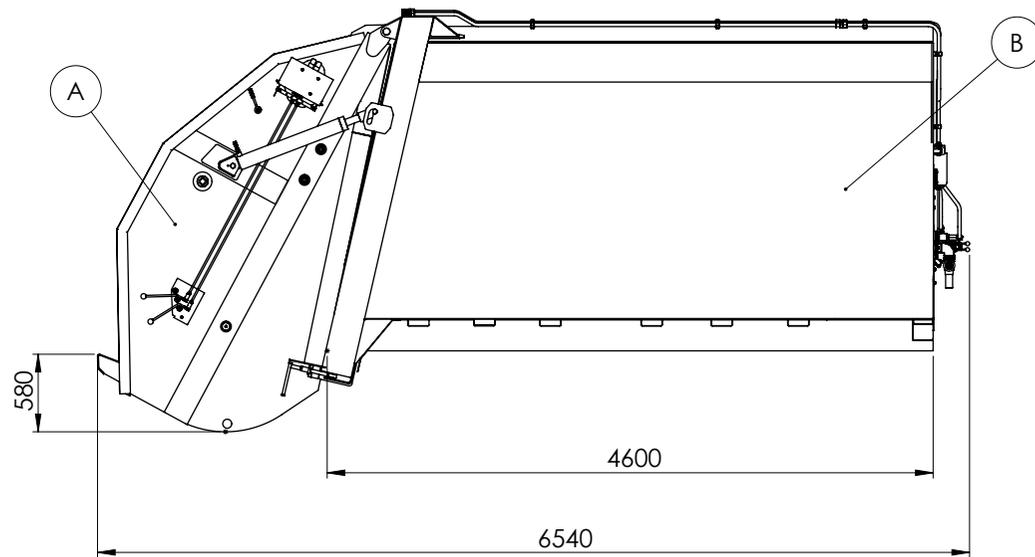
- [1] MONTEIRO, J. H. P., ZVEIBIL, V. Z., OTHERS. “Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos”. In: *Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos*, IBAM, 2001.
- [2] ABRELPE. “Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014”. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>>.
- [3] EIGENHEER, E. M. “A limpeza urbana através dos tempos”, *Porto Alegre, RS: Pallotti*, 2009.
- [4] NBR, A. “10.004 resíduos sólidos: Classificação”, *Rio de Janeiro*, 2004.
- [5] BUDYNAS, R. G., NISBETT, J. K. *Elementos de máquinas de Shigley*. AMGH Editora, 2009.
- [6] CIMASP. “Manual do proprietário - coletor compactador Pegasus”. Disponível em: <http://www.cimasp.com.br/cimasp/manuais/manual_pegasus.pdf>.
- [7] CENSO, I. “Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/i>”, *Consultado em*, v. 12, 2010.
- [8] DNIT, P. M. A. “Resoluções CONTRAN 12/98 e 104/98; Lei 7.408/85”, *Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Ministério dos Transportes, Brasil*, 2005.
- [9] MERCEDES-BENZ. “Manual para montagem de carroçarias e equipamentos. Atego”. Disponível em: <<https://www.mercedes-benz.com.br/resources/files/documentos/caminhoes/atego/manual-de-implementacao/manual-de-implementacao-euro-3-atego-pt.pdf>>.
- [10] VOLKSWAGEN. “Diretrizes de implementação Delivery / Worker / Constellation”. Disponível em: <<https://www.man-la.com/download/uploads/ProductDocument/Diretrizes-de-Implementa\unhbox\voidb@x\setbox\z@\hbox{c}\accent24cao-2016-42.pdf>>.

- [11] HIDRÁULICA, R. “Manual de Hidráulica Básica”, *Porto Alegre*, 1981.
- [12] FOX, R. W., PRITCHARD, P. J., MCDONALD, A. T. *Introdução à mecânica dos fluidos*. Grupo Gen-LTC, 2000.
- [13] COMPONENTS, E. H. “Hydraulic Cylinders”. Disponível em: http://cdn.premium-supply.com/Eagle_Documentation/HYDRAULIC-CYLINDERS.pdf.
- [14] REXROTH, M. “Proyecto y Construcción de Equipos Hidráulicos” . .
- [15] PARKER, T. “Tecnologia Hidráulica Industrial”, *Apostila M2001BR, julho de*, v. 15, 1998.
- [16] PARKER. “Mobile Cylinder Div. Catalog HY18 0032”. . Disponível em: <http://www.seall.cz/uploads/files/teleskopicke-hydraulicke-valce/HY18-0032%20Dump%20Catalog%20and%20Quick%20Reference%20Guide.pdf>.
- [17] MOBIL. “Mobil Hidráulico AW 68”. Disponível em: http://mobil.cosan.com/sites/default/files/produtos/mobil_hidraulico_aw_68_2013.pdf.
- [18] FALCO, R. D., MATTOS, E. “Bombas industriais”, *Editora Interciência, 2ª edição, Rio de Janeiro*, 1998.
- [19] EATON. “Catálogo de aplicação - Tomada de força”. . Disponível em: http://www.eaton.com/ecm/groups/public/@pub/@eatonbr/documents/content/pct_1195971.pdf.
- [20] EATON. “Vickers Vane Pump and Motor Design Guide for mobile equipment”. . Disponível em: http://www.eaton.com/ecm/groups/public/@pub/@eaton/@hyd/documents/content/pl1_1409.pdf.
- [21] ACESSÓRIOS E EQUIPAMENTOS LTDA, H. “Filtros de sucção”. Disponível em: <http://www.hidrausul.com.br/catalogo/catalogoshda/filtros/Filtros%20de%20Succao.pdf>.
- [22] BRATAL. “603 - Tubos”. Disponível em: <http://www.bratal.com.br/pdf/catalogo-bratal-tubos-ermeto.pdf>.
- [23] PARKER. “Comando Direcional Múltiplo Séries ML25 e MD25”. . Disponível em: http://hmc.com.br/pdf/parker_ML25_MD25.pdf.

- [24] BEER, F. P., JOHNSTON, E. R. *Resistência dos materiais*, v. 5. McGraw-Hill, 1982.
- [25] DE SOUZA CRUZ, A. J. R. *Elementos de Máquinas*. 2008.
- [26] BRASIL, A. I. “Aço Inoxidável Ferrítico ACE P439A”. Disponível em: institutodoinox.com.br/download/5/aco-inoxidavel-ferritico-ace-p439a.html.
- [27] RIO, C. L. V., SANTOS, I. C. *Avaliação da corrosão de aços inoxidáveis em presença de chorume*. Universidade católica de santos.
- [28] OLIVEIRA, T. “Tubos estruturais e industriais retangulares”. Disponível em: <http://www.tubosoliveira.com.br/images/tabela-retangular.pdf>.
- [29] SCANIA. “Informações gerais sobre caminhões de coleta de lixo”. Disponível em: https://til.scania.com/groups/bwd/documents/bwm/mdaw/mjqz/~edisp/bwm_0000212_16.pdf.
- [30] IVECO. “Manual do Implementador - Tector”. Disponível em: http://www.iveco.com/Brasil/Produtos/Documents/manual_implementador/Manual_Implementador_Tector.pdf.

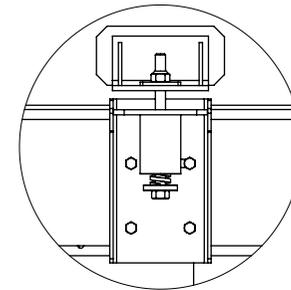
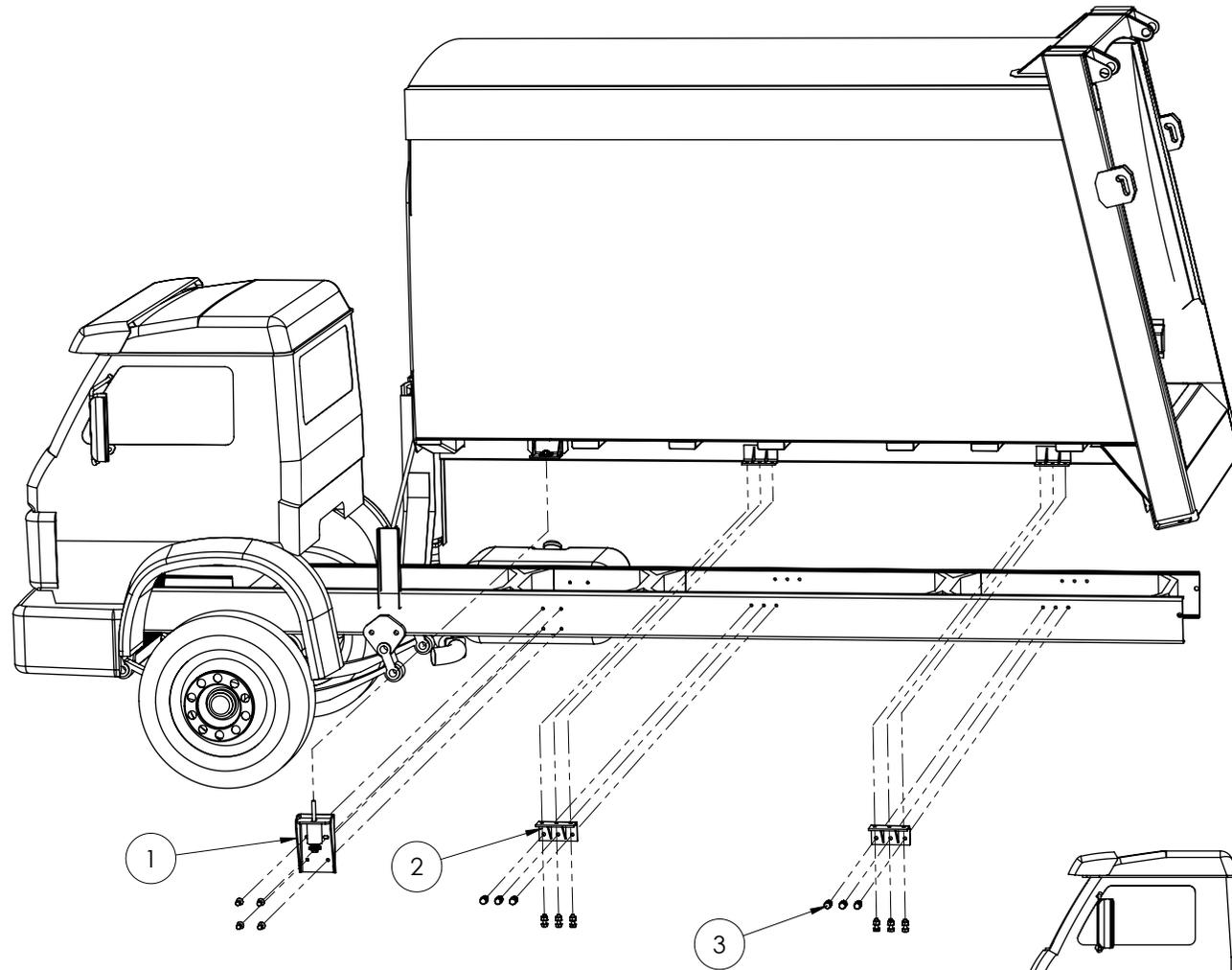


Vistas Ortográficas do equipamento completo		COMPACTADOR DE LIXO SOB CHASSI DO TIPO CARGA TRASEIRA DE 19m ³	
Autor Rodrigo Luiz Metne Ribeiro		Universidade Federal do Rio de Janeiro	
Orientador Armando Carlos de Pina		Escala 1:40	Cotas mm
			1° Diedro

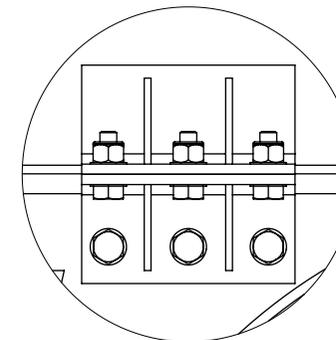


Item	Descrição
A	Porta Traseira
B	Caçamba

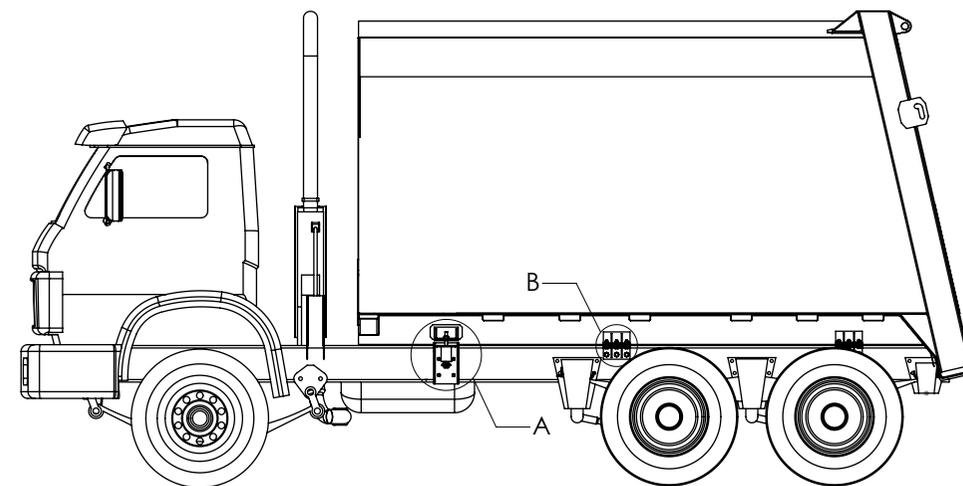
Vistas Ortográficas do Compactador		COMPACTADOR DE LIXO SOB CHASSI DO TIPO CARGA TRASEIRA DE 19m ³	
Autor Rodrigo Luiz Metne Ribeiro		Universidade Federal do Rio de Janeiro	
Orientador Armando Carlos de Pina		Escala 1:40	Cotas mm
			1° Diedro



DETALHE A
ESCALA 1 : 10

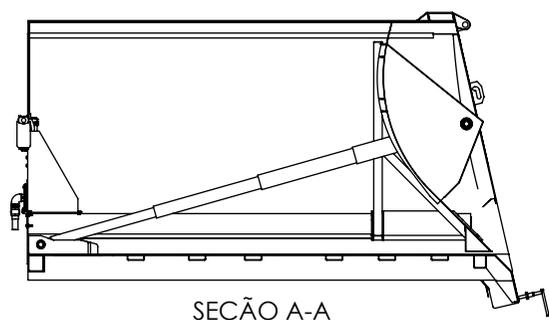
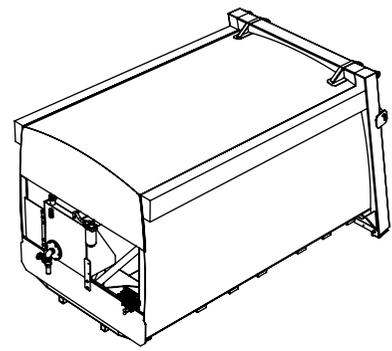
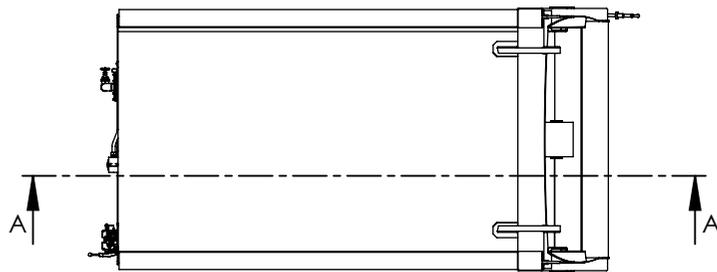


DETALHE B
ESCALA 1 : 5

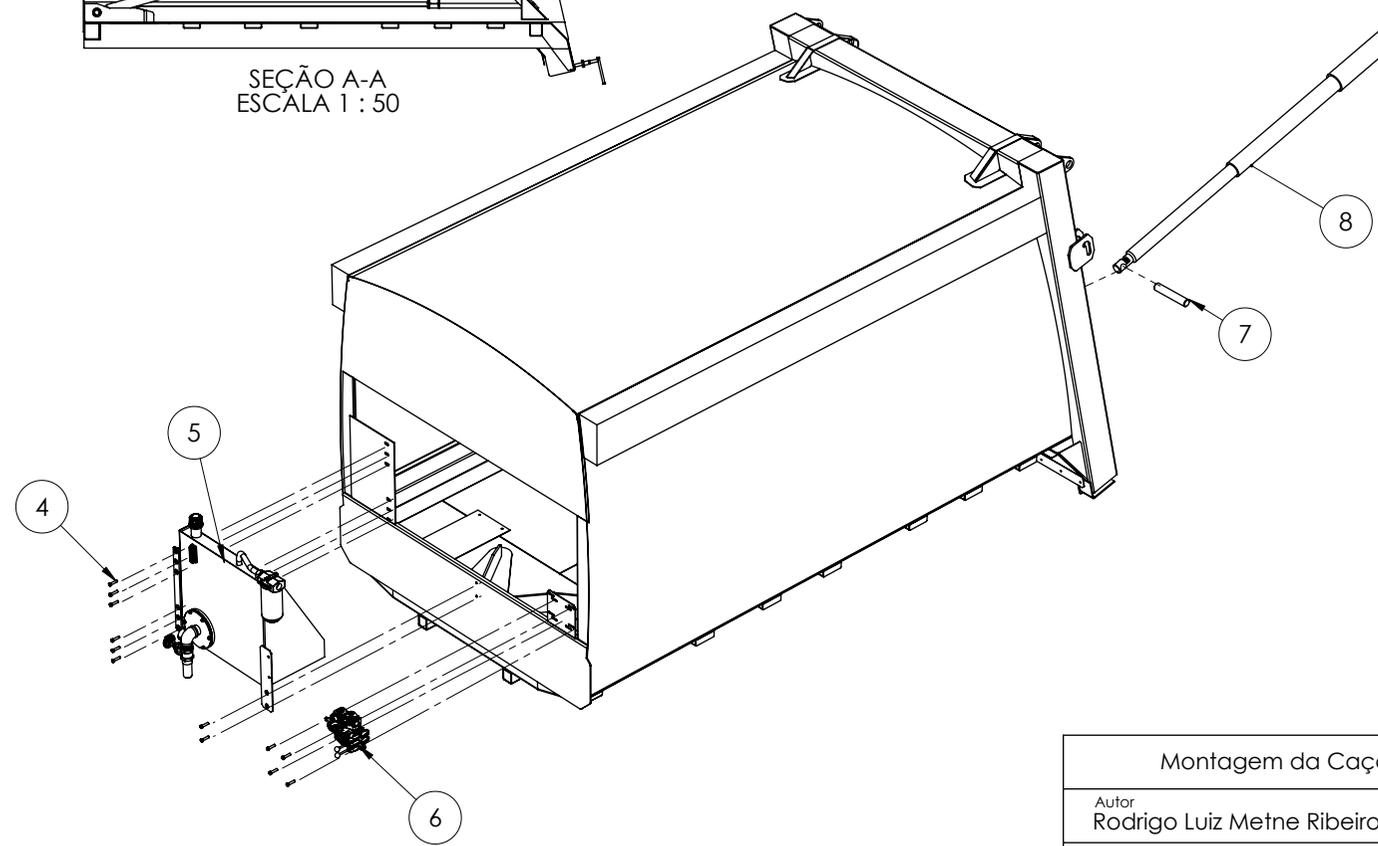
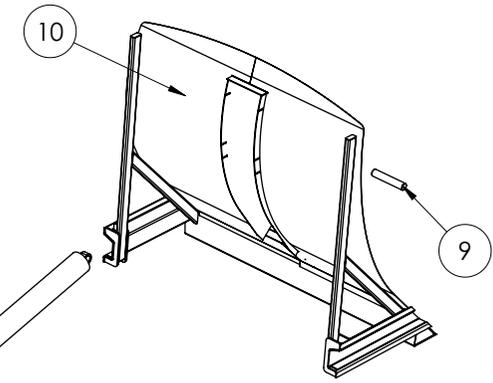


Item	Descrição	Qtd.
1	Fixação com conexão de grande elasticidade	2
2	Fixação com conexão mista - Parafuso e solda	4
3	Parafusos M16	32

Fixação do equipamento no Chassi		COMPACTADOR DE LIXO SOB CHASSI DO TIPO CARGA TRASEIRA DE 19m³	
Autor Rodrigo Luiz Metne Ribeiro		Universidade Federal do Rio de Janeiro	
Orientador Armando Carlos de Pina	Escala 1:40	Cotas mm	1º Diedro

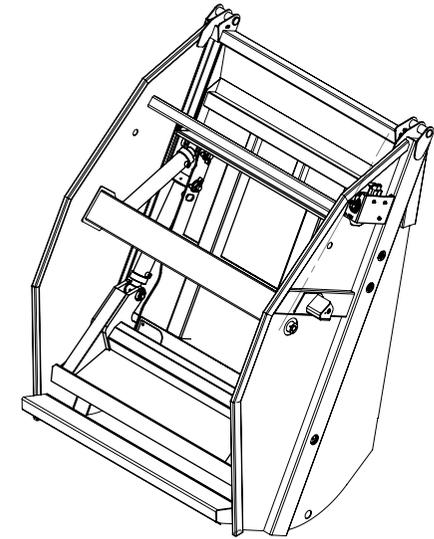
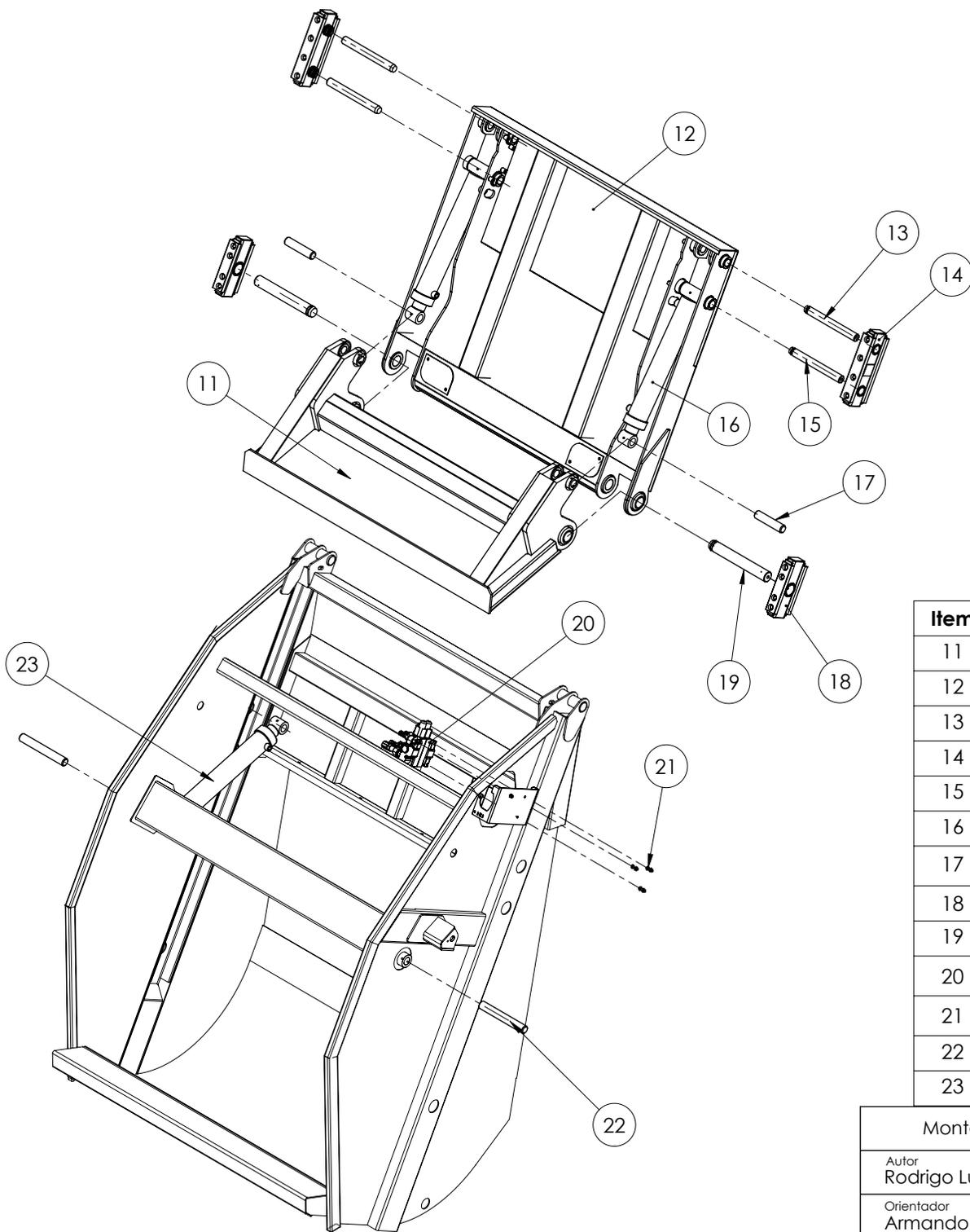


SEÇÃO A-A
ESCALA 1 : 50



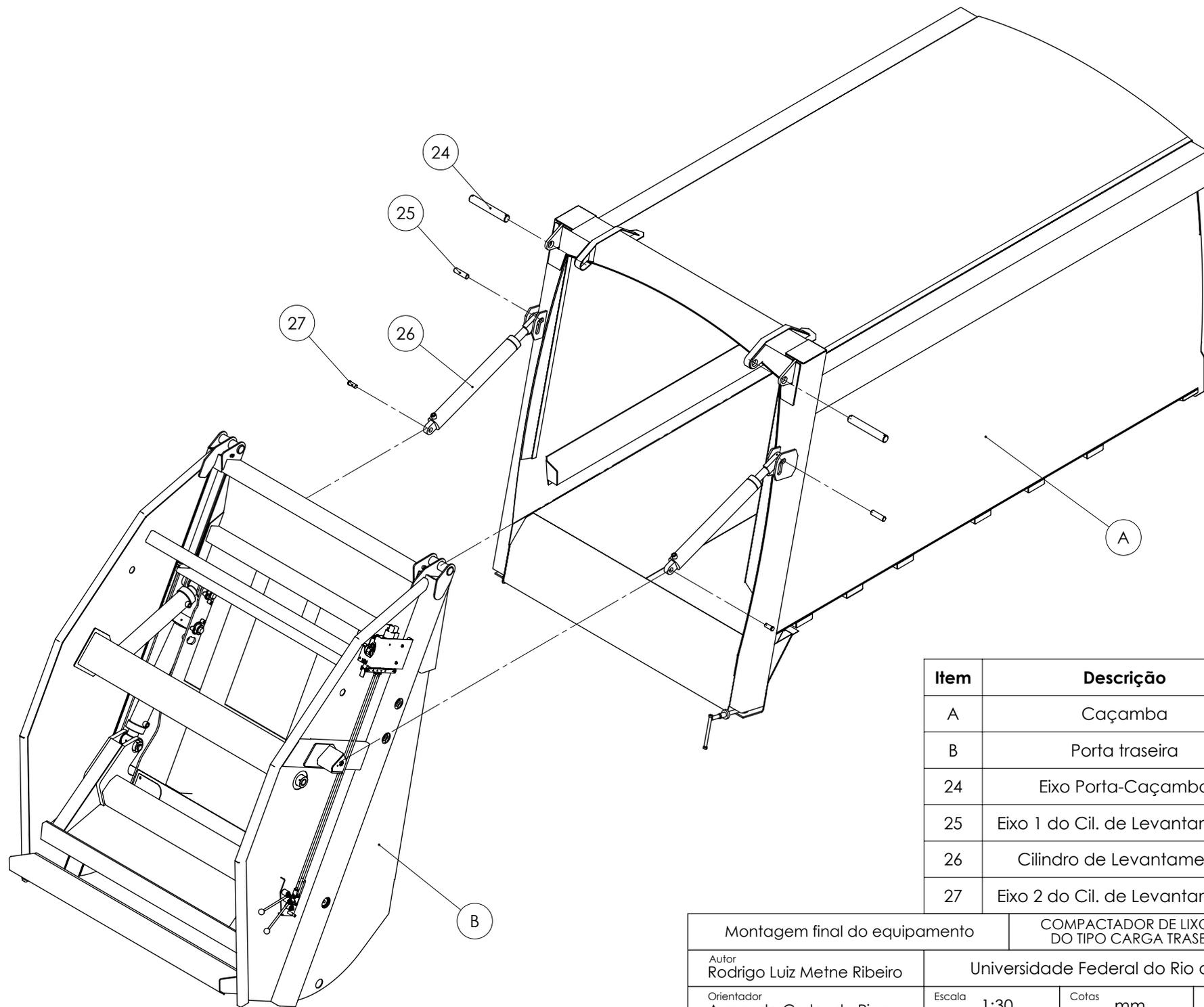
Item	Descrição	Qtd
4	Parafuso M12	1
5	Conjunto Tanque Hidráulico	12
6	Comando dianteiro	1
7	Eixo 1 do Cil. Ejetor	1
8	Cilindro Ejetor Telescópico	1
9	Eixo 2 do Cil. Ejetor	1
10	Painel Ejetor	1

Montagem da Caçamba		COMPACTADOR DE LIXO SOB CHASSI DO TIPO CARGA TRASEIRA DE 19m³	
Autor Rodrigo Luiz Metne Ribeiro		Universidade Federal do Rio de Janeiro	
Orientador Armando Carlos de Pina		Escala 1:25	Cotas mm
			1º Diedro



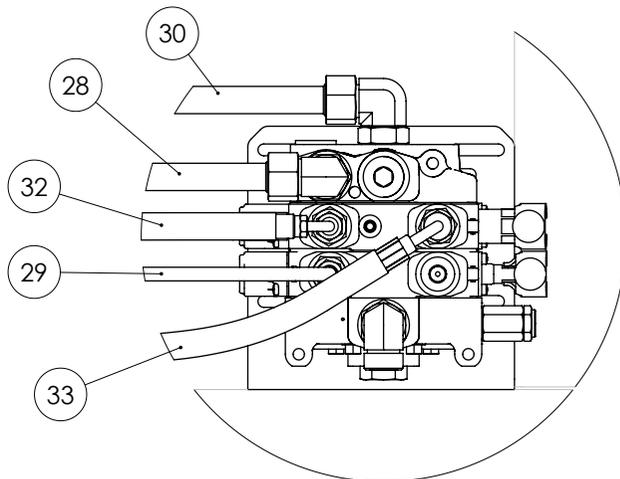
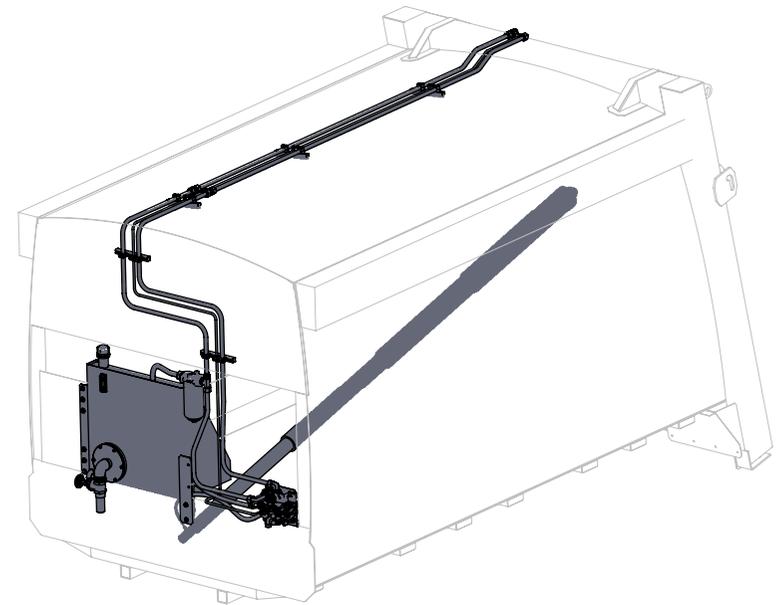
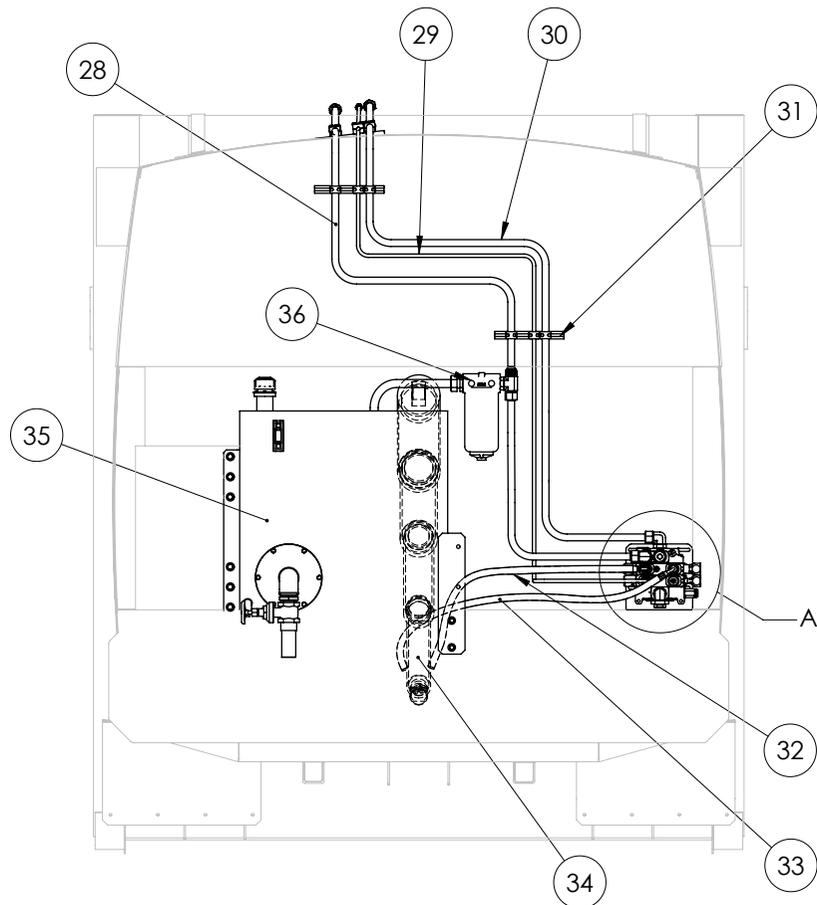
Item	Descrição	Qtd.
11	Painel Transportador	1
12	Painel Compactador	1
13	Eixo de articulação Painel compact - Cil Compact	2
14	Patins superior	2
15	Eixo de articulação painel compact - Cil. transp	2
16	Cilindro transportador	2
17	Eixo de articulação Painel Transp - Cil. Transpo	2
18	Patins inferior	1
19	Eixo de articulação painel Compact. - painel transp.	3
20	Comando traseiro	2
21	Parafusos M6	2
22	Eixo de articulação Cil. Compact.	2
23	Cilindro Compactador	2

Montagem da Porta Traseira		COMPACTADOR DE LIXO SOB CHASSI DO TIPO CARGA TRASEIRA DE 19m³	
Autor Rodrigo Luiz Metne Ribeiro		Universidade Federal do Rio de Janeiro	
Orientador Armando Carlos de Pina	Escala 1:30	Cotas mm	1º Diedro



Item	Descrição	Qtd.
A	Caçamba	1
B	Porta traseira	1
24	Eixo Porta-Caçamba	2
25	Eixo 1 do Cil. de Levantamento	2
26	Cilindro de Levantamento	2
27	Eixo 2 do Cil. de Levantamento	2

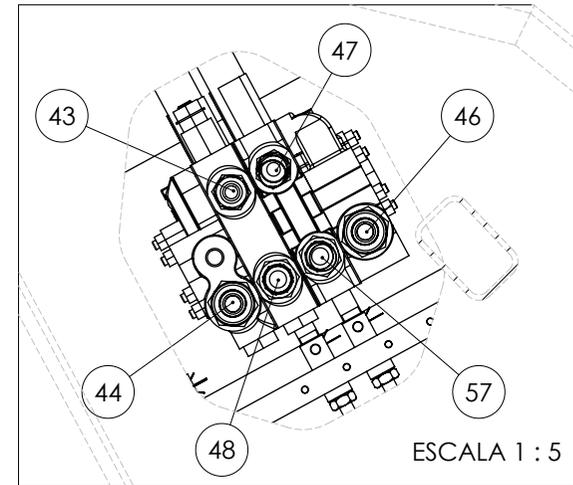
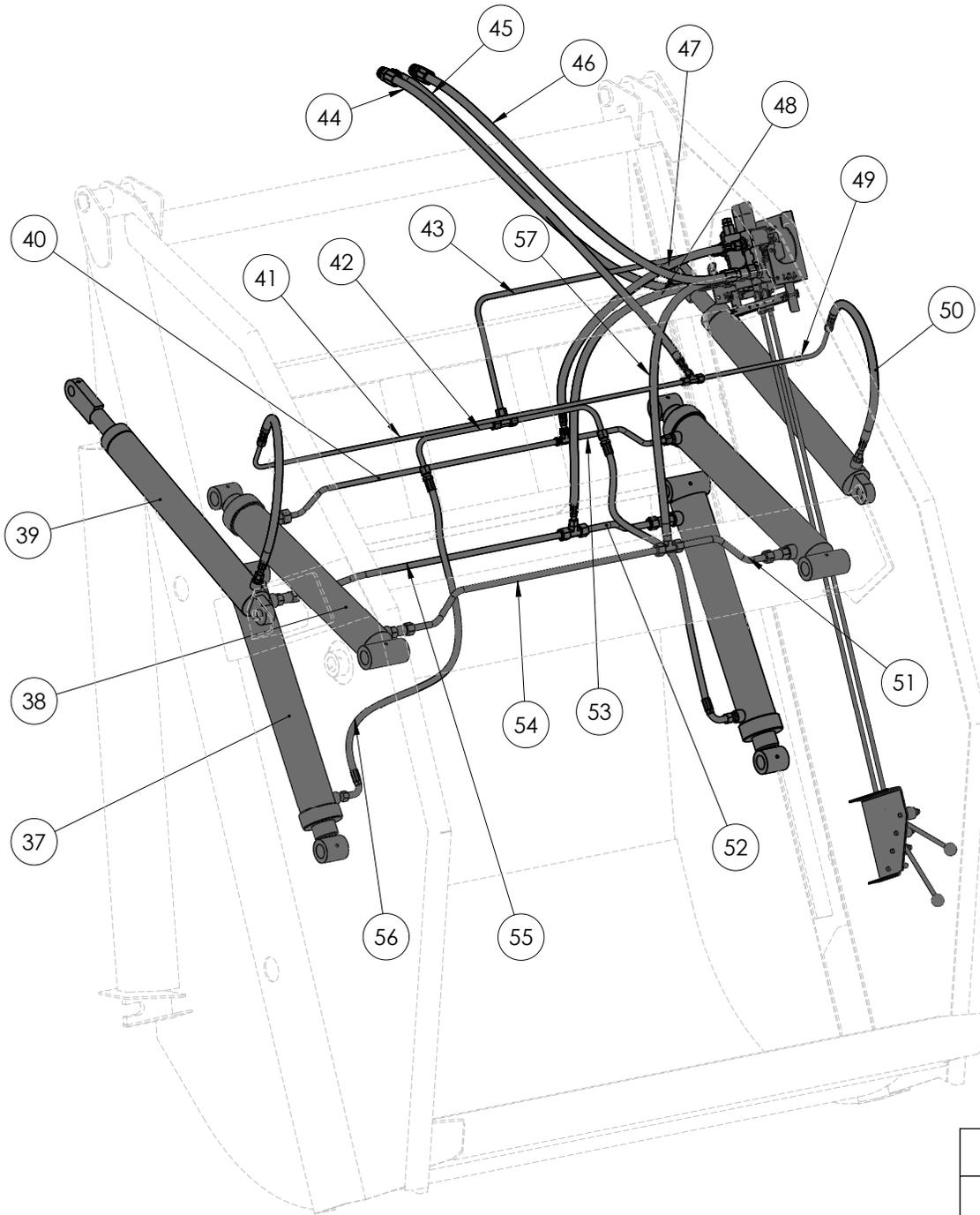
Montagem final do equipamento		COMPACTADOR DE LIXO SOB CHASSI DO TIPO CARGA TRASEIRA DE 19m³	
Autor Rodrigo Luiz Metne Ribeiro		Universidade Federal do Rio de Janeiro	
Orientador Armando Carlos de Pina	Escala 1:30	Cotas mm	1º Diedro



DETALHE A
ESCALA 1 : 5

Item	Descrição	Qtd.
28	Tubo de retorno da caçamba	1
29	Tubo de levantamento da porta	1
30	Tubo de pressão da caçamba	1
31	Trilho para abraçadeira	1
32	Mangueira de pressão do cilindro ejetor	1
33	Mangueira de retorno do cilindro ejetor	1
34	Cilindro ejetor	1
35	Conjunto do tanque hidráulico	1
36	Filtro de retorno	1

Hidráulica da Caçamba		COMPACTADOR DE LIXO SOB CHASSI DO TIPO CARGA TRASEIRA DE 19m³	
Autor Rodrigo Luiz Metne Ribeiro		Universidade Federal do Rio de Janeiro	
Orientador Armando Carlos de Pina	Escala 1:20	Cotas mm	1º Diedro



Item	Descrição	Qtd.
37	Cilindro Transportador	2
38	Cilindro Compactador	2
38	Cilindro de levantamento da porta	2
40	Tubo 1 de retorno do Cil. Compactador	1
41	Tubo 1 de levantamento da porta	1
42	Tubo de retorno 1 do Cil. Transportador	2
43	Tubo de retorno 2 do Cil. Transportador	1
44	Mangueira de pressão	1
45	Mangueira de levantamento da porta	1
46	Mangueira de retorno	1
47	Mangueira de retorno do cilindro compactador	1
48	Mangueira de pressão do cilindro transportador	1
49	Tubo 2 de levantamento da porta	1
50	Mangueira 2 de levantamento da porta	2
51	Tubo de pressão do cilindro compactador	1
52	Tubo 1 de pressão do Cilindro Transportador	1
53	Tubo 2 de retorno do Cil. Compactador	1
54	Tubo 2 de pressão do cilindro compactador	1
55	Tubo 2 de pressão do cilindro transportador	1
56	Mangueira de retorno do cilindro transportador	2
57	Mangueira de pressão do cilindro compactador	1

Vistas Ortográficas do equipamento

COMPACTADOR DE LIXO SOB CHASSI DO TIPO CARGA TRASEIRA DE 19m³

Autor
Rodrigo Luiz Metne Ribeiro

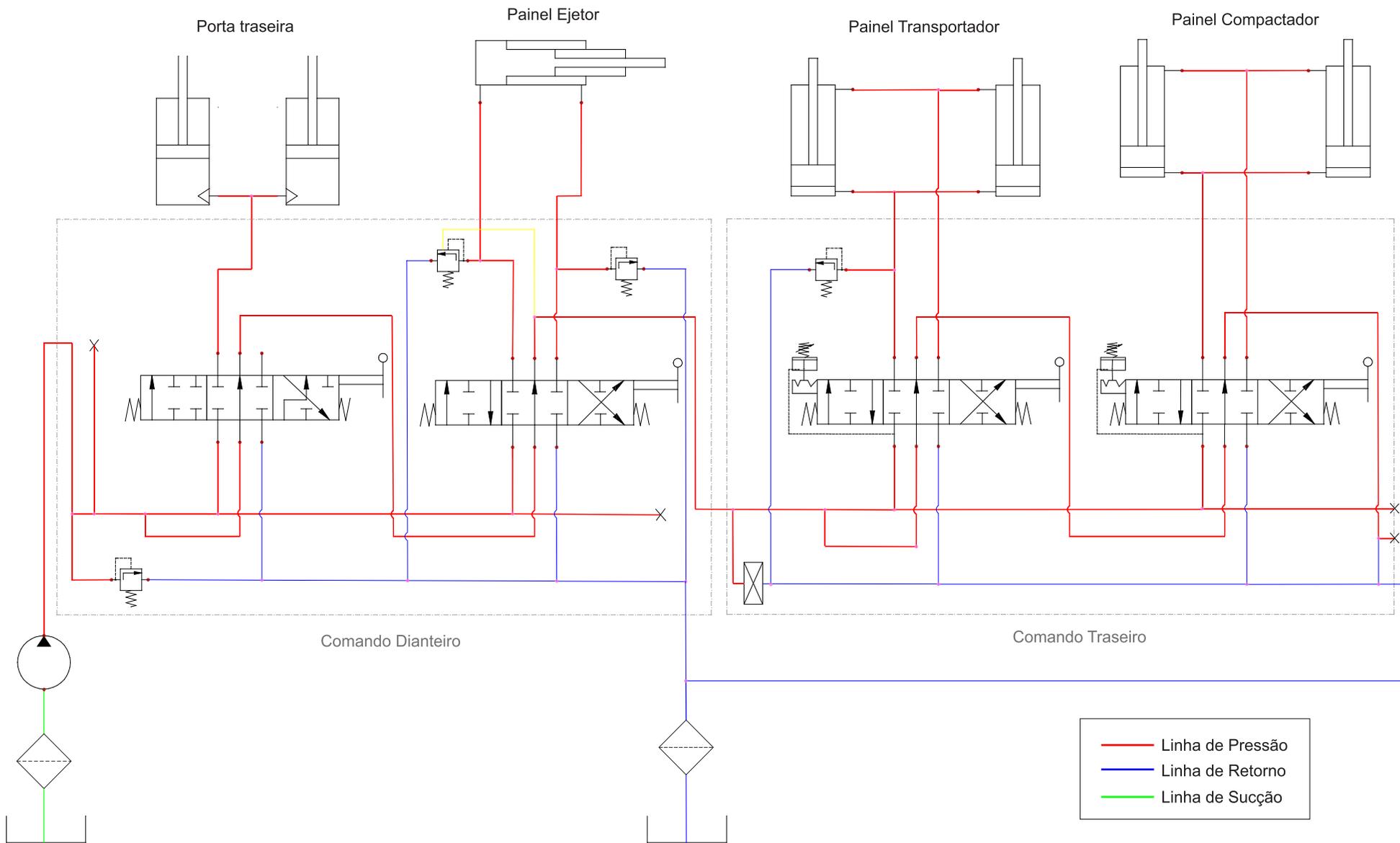
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Orientador
Armando Carlos de Pina

Escala 1:50

Cotas mm

1º Diedro



Esquema Hidráulico		COMPACTADOR DE LIXO SOB CHASSI DO TIPO CARGA TRASEIRA DE 19m ³	
Autor Rodrigo Luiz Metne Ribeiro		Universidade Federal do Rio de Janeiro	
Orientador Armando Carlos de Pina		Escala	Cotas