



Diego Henrique Ferreira  
Guilherme Gabriel Sousa e Almeida  
Gustavo Garcia Amaral  
Higo Silva Veloso  
Larissa Stéphanie Alves Machado  
Raycos Augusto Maganha

## **Compactador elétrico de latas de alumínio**

Arcos-MG

2019

Diego Henrique Ferreira  
Guilherme Gabriel Sousa e Almeida  
Gustavo Garcia Amaral  
Higo Silva Veloso  
Larissa Stéphanie Alves Machado  
Raycos Augusto Maganha

## **Compactador elétrico de latas de alumínio**

Relatório apresentado à disciplina Trabalho Acadêmico Integrador III do curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus Arcos*.

Bacharelado em Engenharia Mecânica  
Trabalho Acadêmico Integrador III

Orientador: Prof. José Luiz Gonçalves

Arcos-MG

2019

# Resumo

Todo o crescimento populacional e industrial traz consigo o aumento de resíduos sólidos gerados pela sociedade. A reciclagem se faz fundamental no reaproveitamento de parte desses resíduos que podem ser reciclados para seguir seu ciclo de vida, evitando que sejam descartados nos chamados lixões ou aterros que não atendam as condições ideais para seu descarte. No Brasil, o alumínio é um dos materiais que tem uma das maiores taxas de reciclagem. A reutilização das latas de alumínio chega a ser 95% menos lesiva ao meio ambiente, quando comparada a produção de uma nova, assim como também possui um custo menos elevado. Esse relatório se trata da construção de um protótipo automatizado para amassar latas, visto a necessidade de diminuir o espaço físico ocupado pelas mesmas em seu aspecto original, ganhar produtividade, e diminuir o esforço causado pelo processo manual feito por catadores de latas, funcionários de estabelecimentos comerciais, etc. Através de desenhos e animações, foi representado o protótipo e feito os cálculos prévios para dimensionamento do equipamento, com propósito de atender os objetivos estabelecidos no Trabalho Acadêmico Integrador III.

**Palavras-chave:** Compactador de latas; Reciclagem; Produtividade; Economia.

# Sumário

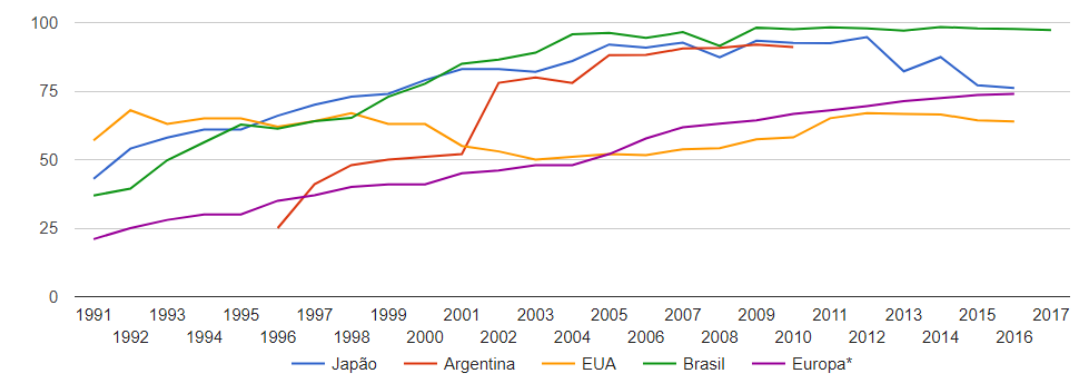
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>4</b>
<b>1.1</b>	<b>Contexto</b>	<b>4</b>
<b>1.2</b>	<b>Problema de armazenamento e compactação de latas</b>	<b>5</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos</b>	<b>5</b>
1.3.1	Objetivo Geral	5
1.3.2	Objetivos Específicos	5
<b>1.4</b>	<b>Justificativa</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>7</b>
<b>2.1</b>	<b>Funcionamento do compactador</b>	<b>7</b>
<b>2.2</b>	<b>Mecanismo biela-manivela</b>	<b>7</b>
<b>2.3</b>	<b>Projetos similares</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>9</b>
<b>3.1</b>	<b>Orçamento e cronograma</b>	<b>9</b>
<b>3.2</b>	<b>Representação dos componentes do protótipo</b>	<b>11</b>
<b>3.3</b>	<b>Cálculo dos esforços no redutor</b>	<b>12</b>
<b>3.4</b>	<b>Estudo do movimento do pistão</b>	<b>12</b>
3.4.1	Estudo do movimento do pistão utilizando o Movimento Harmônico Simples	12
3.4.2	Cálculo da posição, velocidade e aceleração do pistão	13
3.4.3	Velocidade angular, período e frequência do motor	15
<b>3.5</b>	<b>Partes que auxiliam a operação do compactador</b>	<b>15</b>
3.5.1	Funil de latas	15
3.5.2	Compartimento de armazenamento de latas	16
<b>3.6</b>	<b>Força necessária para amassar uma lata</b>	<b>17</b>
3.6.1	Teste de compressão amador	17
3.6.2	Teste de compressão na máquina de ensaio	18
<b>3.7</b>	<b>Dados obtidos após o teste de compressão da lata</b>	<b>20</b>
<b>3.8</b>	<b>Força do motor</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E CONCLUSÕES</b>	<b>22</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>23</b>
	<b>APÊNDICE A – CÁLCULOS UTILIZADOS NO PROJETO</b>	<b>24</b>

# 1 Introdução

## 1.1 Contexto

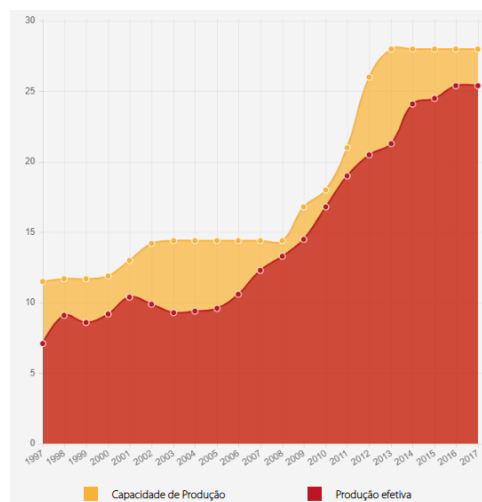
Atualmente a questão da preservação ambiental e do consumo sustentável se faz presente e relevante. No Brasil por exemplo, a questão da reciclagem é incentivada com a política nacional de resíduos sólidos (PNRS), lei sancionada em 2010 e que define uma série de medidas voltadas para a destinação correta dos resíduos pós-consumo no Brasil. Um material que se destaca em termos de relação produção/reciclagem é o alumínio, em especial as latas de alumínio, como evidenciado nas figuras 1 e 2.

Figura 1 – Índices de reciclagem da lata de alumínio para bebidas (em %)



Fonte: (ABRALATAS, 2018a).

Figura 2 – Produção de latas de alumínio (em bilhões de unidades)



Fonte: (ABRALATAS, 2018b).

Somente na etapa da coleta da latinha, 1,2 bilhão foram injetados diretamente na economia brasileira em 2017. [...] Estudos do setor de alumínio mostram ainda que a reciclagem da latinha de alumínio consome apenas 5% da energia que seria utilizada na produção da mesma quantidade de alumínio primário.[...] Outra vantagem ambiental da reciclagem da lata de alumínio,[...] é relacionada ao impacto evitado com a extração da bauxita, mineral que dá origem ao alumínio industrial. Para cada quilo de latinha reciclada, evita-se a extração de cinco quilos do mineral.(ABRALATAS, 2018c)

Toda essa alta quantidade de latas recicladas impacta positivamente na economia e no meio ambiente.

## 1.2 Problema de armazenamento e compactação de latas

Um problema enfrentado por associações de catadores de latinhas, microempreendedores e estabelecimentos comerciais é o armazenamento das latas, visto que uma pequena quantidade ocupa um espaço físico considerável e o processo usual de amassar latas com os pés se torna cansativo e demorado. Uma alternativa a isso é a construção de um protótipo de amassador de latas automatizado, que além de diminuir o espaço ocupado pelas latas tem a vantagem de evitar os problemas enfrentados pelo processo usual.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver a parte estrutural de um protótipo de um amassador de latas automatizado, que venha se mostrar vantajosa a sua utilização, quando comparado ao processo usual de amassar latas, favorecendo diversos setores.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Construção da parte estrutural do protótipo, para que o mesmo possa ser finalizado no período posterior.
- Adquirir habilidade de planejamento de um projeto a ser desenvolvido durante dois semestres.
- Evidenciar conteúdos vistos em sala de aula aplicados ao projeto.

## 1.4 Justificativa

Um grande problema enfrentado por associações de catadores de materiais recicláveis, e estabelecimentos comerciais que acumulam latas de alumínio, é o modo a se armazenar as mesmas, de forma que não ocupem tanto espaço. Normalmente, após se acumular uma grande quantidade de latas, essas são vendidas para empresas de reciclagem, para que o alumínio volte a ser utilizado nas mais diversas aplicações.

Dados divulgados pela Associação Brasileira do Alumínio (ABAL) e Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio (Abralatas) apontam que, em 2017, foram reaproveitados 97,3% das latas produzidas no país. Ou seja, das 303.900 toneladas de latas de alumínio para bebidas colocadas no mercado em 2017, 295.800 toneladas foram recolhidas e recicladas.(REVISTA-ALUMÍNIO, 2018)

A partir disto, viu-se a relevância em criar um amassador de latas automatizado, capaz de compacta-las de forma eficaz, e ao mesmo tempo otimizar o trabalho daqueles que irão armazenar e vendê-las para sua reciclagem. Deste modo, é reduzido o esforço feito pelo trabalhador, visando maior ergonomia e menor desgaste físico.

## 2 Referencial Teórico

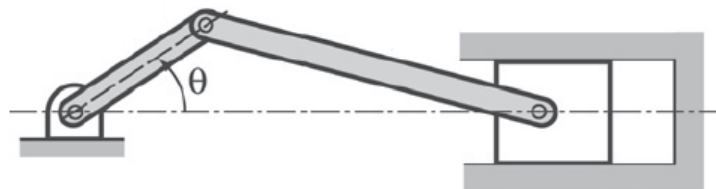
### 2.1 Funcionamento do compactador

O funcionamento da máquina se dá basicamente por um motor, ao qual será acoplado por polia a um redutor, que tem a finalidade de reduzir a rotação oriunda do motor para uma rotação desejada. O conjunto manivela-biela é ligado ao eixo do redutor, de forma que gere o movimento desejado e amasse as latas armazenadas no compartimento, e as descarte em um reservatório específico.

### 2.2 Mecanismo biela-manivela

De acordo com (NORTON, 2013), “[...] um mecanismo é um sistema de elementos unidos e organizados para transmitir movimento de uma maneira predeterminada”. A estrutura biela-manivela, é um dos sistemas de transformação de movimento mais utilizados, devido a sua polivalência. Seu modelo é muito correlacionado à máquina a vapor de pistões, e bastante utilizado em sistemas de transformação de movimento de rotação em movimento linear, ou vice-versa.

Figura 3 – Mecanismo biela-manivela



Fonte: (GILAT, 2012)

A manivela (barra menor) gira em torno do eixo do motor, fazendo com que a biela (barra maior) movimente o pistão de maneira linear. Apesar do funcionamento do protótipo ser programado para ser executado no próximo semestre, é possível estimar o comportamento teórico do mecanismo e obter informações relevantes através de dados sobre o motor e da análise geométrica do mecanismo biela manivela.

### 2.3 Projetos similares

Iniciativas semelhantes a proposta no presente relatório já foram desenvolvidas, como visto em (UNIBRASIL, 2016), em que alunos do 5º período de engenharia mecânica



desenvolveram projetos para reciclagem de latas de alumínio, visando reforçar a cultura de reciclagem dentro e fora do *campus*. Também nesse sentido, em (BRAZ, 2017), um estudante do 7º período de engenharia mecânica, ao observar a dura rotina dos catadores de latas, desenvolveu um amassador de latas visando facilitar esse processo feito pelos catadores.

# 3 Metodologia

## 3.1 Orçamento e cronograma

Ao início do projeto, foram realizadas pesquisas sobre os valores dos componentes do protótipo, chegando a um valor base de 600 reais. Após este valor fixado, o grupo buscou por materiais capazes de suprir as necessidades do projeto, e que o tornasse mais acessível financeiramente. Ao final, chegou-se ao orçamento mostrado na tabela 1. Ao longo da construção do protótipo, esses valores poderão ser alterados.

Tabela 1 – Orçamento previsto

Materiais	Valores
Motor elétrico	R\$ 175,00
Redutor para o motor	R\$ 189,90
Madeira do tipo pinus (30x150)	R\$ 40,00
Chapa de metal (19x13)	R\$ 20,00
Chapa de zinco (45x30)	R\$ 20,00
Acrílico 4mm (60x50)	R\$ 20,00
Valor total até o momento	R\$ 464,90
Valor estipulado para gasto	R\$ 600,00

Fonte: Os autores.

O grupo fez um cronograma de atividades para uma melhor organização no decorrer do projeto, o cronograma é dividido em 5 meses sendo que em julho tem a apresentação final na primeira semana. Este cronograma ficou um membro responsável por organizar e colher os dados de outros integrantes assim que foram finalizando as tarefas.

Abaixo na figura 4, o cronograma que o grupo utiliza.

Figura 4 – Cronograma

IFMG Campus Avançado Arcos - Curso de Engenharia Mecânica

TAI n°: 3 Grupo 1  
 Ano: 2019  
 Semestre: 1°

**Cronograma de atividades - TAI**

N°	Descrição da atividade	Responsável	Fev		Março				Abril				Maio				Junho				Julho
			S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	
1	Decisão de escolha do tema, usando SWAT e Tabela de Prioridades	Todos	Plan.																		
			Realiz.																		
2	Estudo das ementas que serão aplica das no projeto.	Todos	Plan.																		
			Realiz.																		
3	Estudo do funcionamento	Todos	Plan.																		
			Realiz.																		
4	Testes de compreesão da lata	Larissa / Guilherme / Diego	Plan.																		
			Realiz.																		
5	Relatório parcial	Larissa / Higo	Plan.																		
			Realiz.																		
6	Cálculos parciais	Diego / Guilherme	Plan.																		
			Realiz.																		
7	Desenho AutoCad e animação do Inventor	Gustavo / Raycos	Plan.																		
			Realiz.																		
8	Discussões sobre a apresentação e término do relatório parcial	Todos	Plan.																		
			Realiz.																		
9	Apresentação parcial do TAI	Todos	Plan.																		
			Realiz.																		
10	Integração das disciplinas no projeto	Todos	Plan.																		
			Realiz.																		
11	Construção do protótipo	Todos	Plan.																		
			Realiz.																		
12	Relatório	Todos	Plan.																		
			Realiz.																		
13	Orçamento do projeto	Todos	Plan.																		
			Realiz.																		
14	Pesquisas dos materiais	Higo / Larissa	Plan.																		
			Realiz.																		
15	Programação usando Matlab	Diego / Guilherme Higo	Plan.																		
			Realiz.																		
16	Parte de Gestão de projetos	Higo / Guilherme	Plan.																		
			Realiz.																		
17	Discussões sobre a apresentação e término do relatório final	Todos	Plan.																		
			Realiz.																		
18	Apresentação final do TAI	Todos	Plan.																		
			Realiz.																		

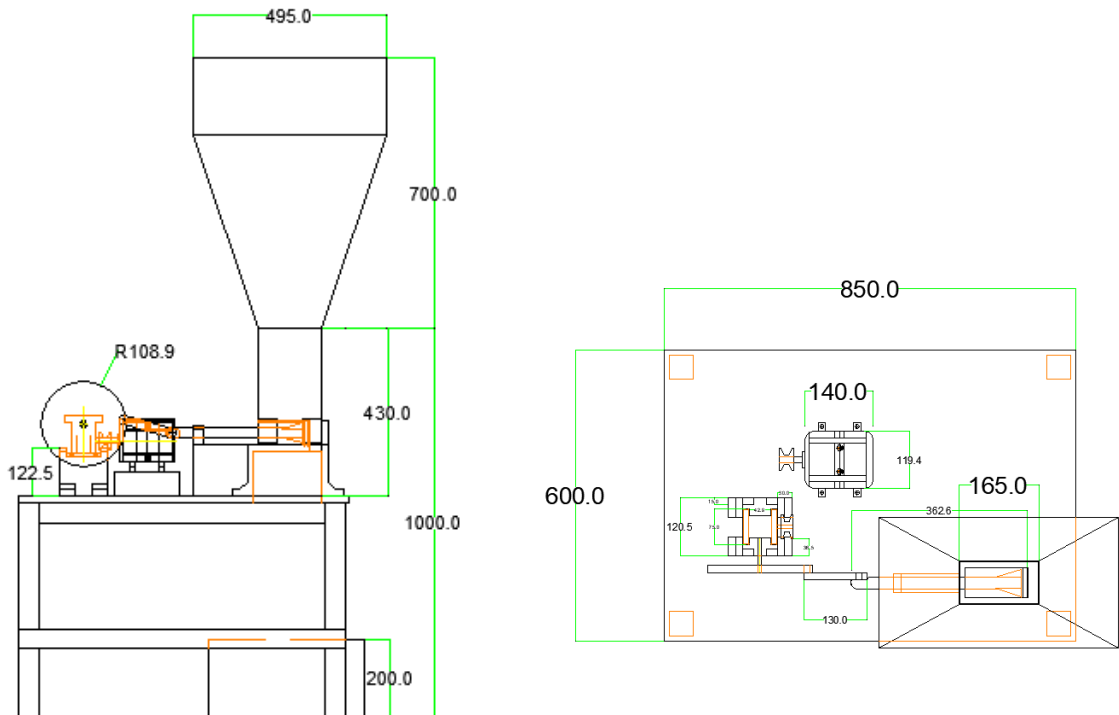
Legendas	
<span style="background-color: red; color: white;">■</span>	Atividades fixas
<span style="background-color: lightgreen;">■</span>	Atividades planejadas
<span style="background-color: yellow;">■</span>	Atividades realizadas

Fonte: Os autores.

### 3.2 Representação dos componentes do protótipo

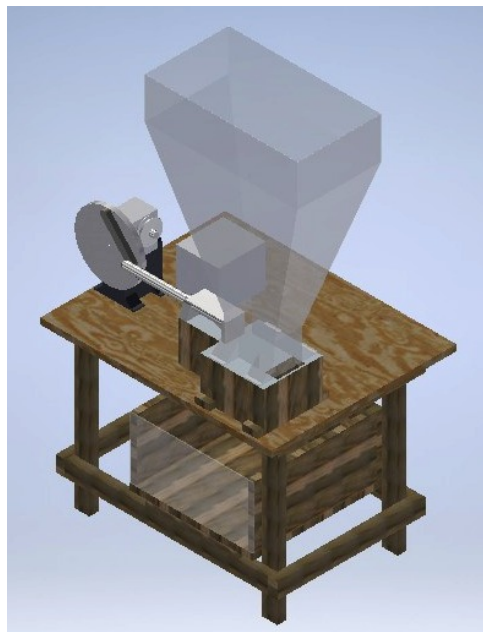
Para melhor compreensão do projeto, foram utilizados os *softwares AutoCAD* e *Inventor* para representar alguns dos componentes do protótipo. Segue abaixo as vistas frontal e superior (medidas em milímetros), e a representação no *Inventor*.

Figura 5 – Vistas frontal e superior do protótipo desenvolvido no AutoCAD



Fonte: Os autores.

Figura 6 – Representação do protótipo no *software Inventor*



Fonte: Os autores.

### 3.3 Cálculo dos esforços no redutor

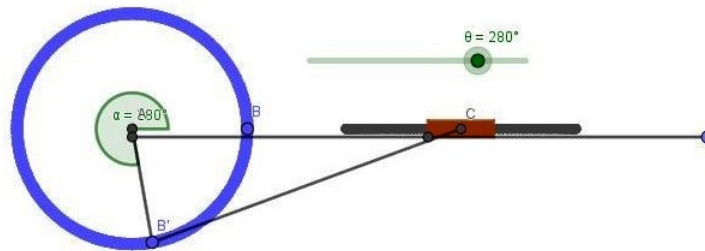
Visto que o redutor sofre esforços gerados pelo funcionamento do motor, foi feito cálculos desses esforços (segue no apêndice), afim de reduzir os custos na construção do protótipo para a utilização de fixadores de baixo custo. O esforço máximo encontrado, levando uma margem de segurança em consideração, foi de 600 N.

### 3.4 Estudo do movimento do pistão

#### 3.4.1 Estudo do movimento do pistão utilizando o Movimento Harmônico Simples

Com a utilização do software *Geogebra*, foi possível fazer uma simulação que representa o movimento do pistão acoplado a polia e biela, como representado abaixo na figura 7.

Figura 7 – Animação gráfica do movimento do pistão utilizando o software *Geogebra*



Fonte: Os autores.

É possível observar que o objeto retangular na cor marrom representa o pistão e sua movimentação varia de acordo com o ângulo  $\theta$ , através desse movimento foi possível gerar três gráficos que representa a posição, velocidade e aceleração, todos eles variando de acordo com o tempo, sendo assim, utilizou-se o aprendizado sobre o MHS (Movimento Harmônico Simples), que oferece dados necessários para aplicação sobre o estudo do movimento do pistão.

Com isso, tendo a amplitude máxima ( $A_{m\acute{a}x}$ ) do tamanho do raio que é de 0,0975 metros, pois o deslocamento do pistão é o diâmetro da polia, uma constante de fase ( $\phi$ ) igual à  $\pi/2$  que representa o ângulo inicial da polia que por sua vez possui uma frequência angular ( $\omega$ ) igual à  $10/7 \pi$  que foi encontrada a partir dos dados do motor com a redução de 1 : 37.

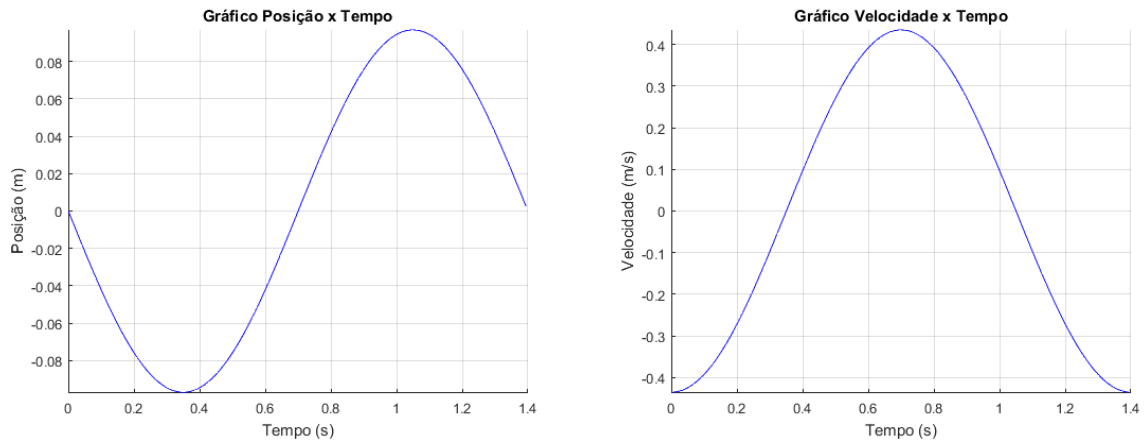
Através destes dados citados acima gerou os gráficos (8 e 9) com o auxílio do software *MatLab* da posição, velocidade e aceleração utilizando as seguintes funções, respectivamente:

$$x(t) = A_{m\acute{a}x} * \cos(\omega t + \phi)$$

$$v(t) = A_{m\acute{a}x} * \omega * \cos(\omega t + \phi)$$

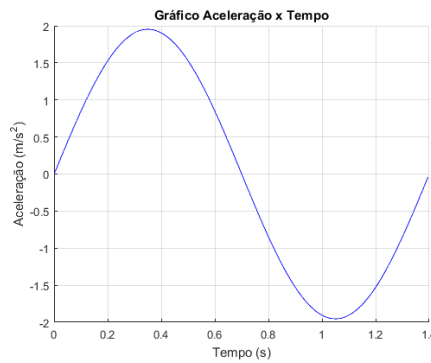
$$a(t) = A_{m\acute{a}x} * \omega^2 * \cos(\omega t + \phi)$$

Figura 8 – Gráficos da posição e velocidade do pistão gerados através do software *MatLab*



Fonte: Os autores.

Figura 9 – Gráfico da aceleração do pistão gerado através do software *MatLab*

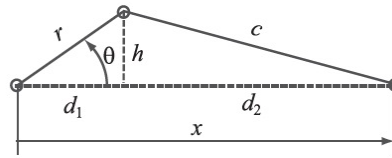


Fonte: Os autores.

### 3.4.2 Cálculo da posição, velocidade e aceleração do pistão

Com um estudo aprofundado sobre o mecanismo biela manivela e com a animação feito no *inventor*, foi visto que uma melhor representação do mecanismo biela manivela pode ser representada através da figura abaixo:

Figura 10 – Geometria do mecanismo biela manivela



Fonte:(GILAT, 2012).

Considerando a figura acima, temos que "r" é a manivela (raio da polia) e "c" é a biela, a qual possui em seu final o pistão que ira compactar as latas. Através da geometria descrita na figura e do auxilio de um *script* do *software* Matlab, retirado de (GILAT, 2012), página 160, é possível calcular a posição, velocidade e aceleração do pistão (cálculos seguem no apêndice), adaptando os valores de biela, manivela e rotação do motor de acordo com os do presente projeto .

A posição do pistão é dada por:

$$x = r \cdot \cos(\theta) + \sqrt{c^2 - r^2 \cdot \text{sen}^2(\theta)} \quad (3.1)$$

Derivando a posição em relação ao tempo é encontrada a velocidade:

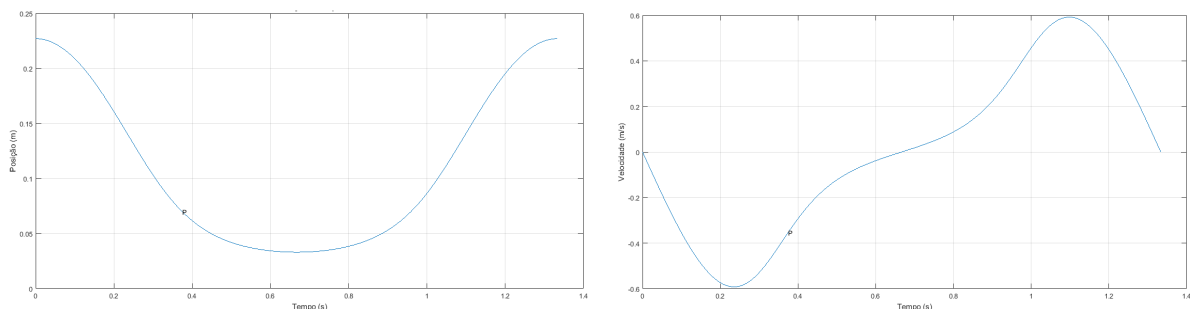
$$\dot{x} = -r \cdot \dot{\theta} \cdot \text{sen}(\theta) - \frac{r^2 \cdot \dot{\theta} \cdot \text{sen}(2 \cdot \theta)}{2 \cdot \sqrt{c^2 - r^2 \cdot \text{sen}^2(\theta)}} \quad (3.2)$$

Derivando a velocidade em relação ao tempo é encontrada a aceleração:

$$\ddot{x} = -r \cdot (\dot{\theta})^2 \cdot \text{cos}(\theta) - \frac{4 \cdot r^2 \cdot (\dot{\theta})^2 \cdot \text{cos}(2 \cdot \theta) \cdot (c^2 - r^2 \cdot \text{sen}^2(\theta)) + (r^2 \cdot \dot{\theta} \cdot \text{sen}(2 \cdot \theta))^2}{4 \cdot \sqrt{(c^2 - r^2 \cdot \text{sen}^2(\theta))^3}} \quad (3.3)$$

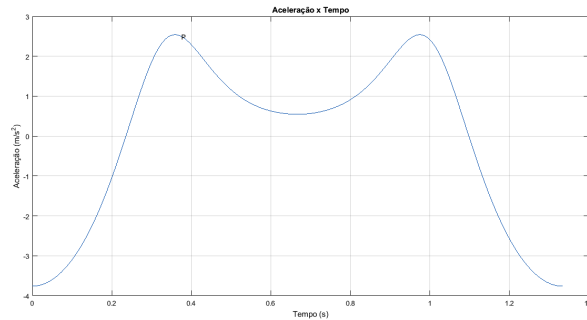
Com as equações definidas e considerando como dados iniciais o ângulo  $\theta$  como  $0^\circ$  no tempo  $t = 0$ , são plotados os gráficos de posição, velocidade e de aceleração do pistão em relação ao tempo com auxilio do *software* Matlab. O ponto P mostrado no gráfico representa o momento do contato do pistão com a lata.

Figura 11 – Gráficos de Posição e velocidade em relação ao tempo



Fonte: (GILAT, 2012).

Figura 12 – Gráfico Aceleração x Tempo



Fonte: (GILAT, 2012).

### 3.4.3 Velocidade angular, período e frequência do motor

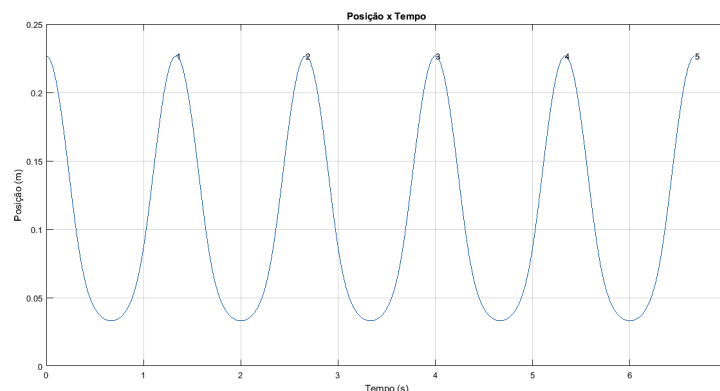
A velocidade angular final do motor é de aproximadamente 45 rpm (ou  $1,5\pi$  rad/s). O período  $T$  e a frequência  $F$  são:

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{rad/s} = 1,33 \text{ s.} \quad (3.4)$$

$$F = \frac{1}{T} = 0,75 \text{ rad/s.} \quad (3.5)$$

O conceito de período pode ser melhor visualizado com o gráfico Posição x Tempo mostrado anteriormente, porém com uma maior escala do eixo horizontal (tempo) utilizada.

Figura 13 – Período



Fonte: (GILAT, 2012)

## 3.5 Partes que auxiliam a operação do compactador

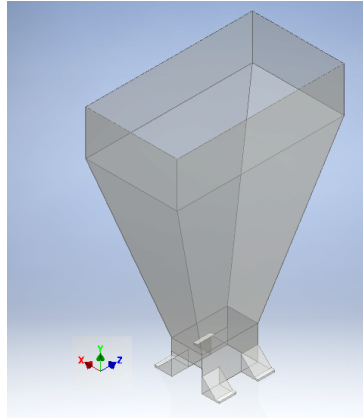
### 3.5.1 Funil de latas

Foi feito um esboço de um funil, o qual teria como função otimizar o processo de compactação. Será feito um estudo da viabilidade da sua construção, devido a ocorrer



o risco de travamento das latas no funil. O volume planejado que o funil comportaria seria de aproximadamente 50 litros, volume esse calculado com o auxílio do conceito de integrais duplas. O cálculos do volume segue em apêndice e o esboço do funil segue na figura abaixo:

Figura 14 – Alimentador do sistema

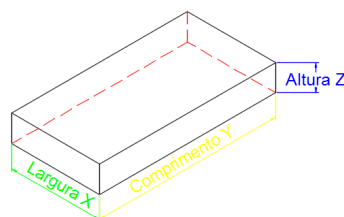


Fonte: Os autores.

### 3.5.2 Compartimento de armazenamento de latas

Foi dimensionado um compartimento em forma de caixa capaz de armazenar 100 latas compactadas. Previamente foi visto que 100 latas ocupariam um volume total de  $29920 \text{ cm}^3$ . Com o auxílio de conceitos como pontos críticos, derivadas parciais e máximos e mínimos de uma função, foi possível determinar as dimensões que minimizam a quantidade de material a ser gasta, gerando assim uma economia.

Figura 15 – Representação do compartimento de armazenamento de latas



Fonte: Os autores.

Com os cálculos feito que estão presente no Apêndice A, as dimensões encontradas que minimizam a quantidade de material foram:  $x=39.11$ ,  $y=39.11$  e  $z=19.56$ , ou seja, uma base quadrada de 39.11 cm com altura de 19.56 cm.

## 3.6 Força necessária para amassar uma lata

### 3.6.1 Teste de compressão amador

Primeiramente foi feito um teste de compressão amador, no qual foi colocado pesos sobre a lata (473 ml) de modo a obter a força que a mesma suportaria.

Os dados obtidos estão exibidos nas tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Dimensões da lata de 473 ml

Dimensões da lata	S/ Compressão	C/ Compressão
Altura:	15,7 cm	2,7 cm
Diâmetro:	6,2 cm	8,3 cm

Fonte: Os autores.

Tabela 3 – Teste de compressão da lata

Corpo de prova	Força (kN)
Lata 1	0,36
Lata 2	0,36
Lata 3	0,34
Lata 4	0,36
Lata 5	0,37
Média	0,36

Fonte: Os autores.

Portanto, de acordo com o teste realizado, a lata suporta em média uma força de 0,36 (kN).

A imagem 16 mostra uma lata sem deformação e uma lata que sofreu deformação após o teste.

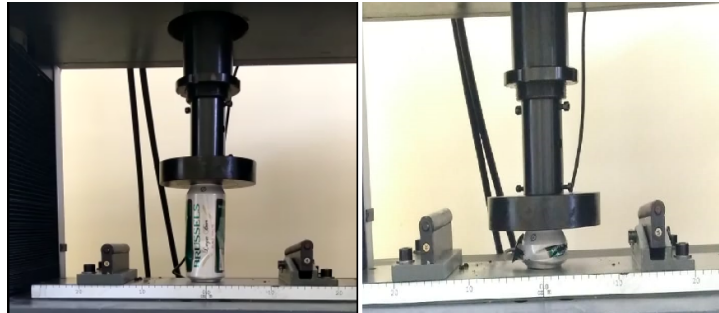
Figura 16 – Lata sem/com deformação.



Fonte: Os autores.

### 3.6.2 Teste de compressão na máquina de ensaio

Figura 17 – Ensaio de compressão completa na lata de 473ml

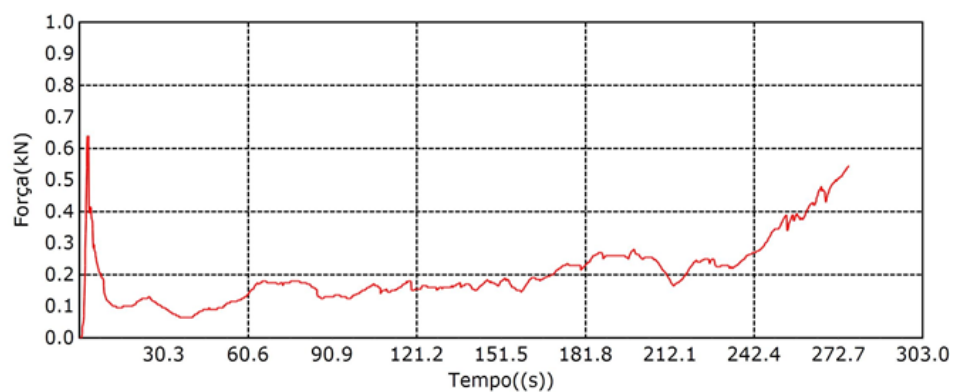


Fonte: Os autores.

Visto que os testes de compressão amador realizados nas latas não são tão exatos quanto os realizados em uma máquina destinada para tal, o grupo decidiu fazer testes utilizando a máquina de ensaio disponibilizada pela faculdade. Desta forma, obteve-se resultados mais precisos relacionados à força necessária para amassar as latas.

Primeiramente foi feito um teste de compressão até que a lata fosse amassada quase em sua totalidade, para observar o ponto em que seria solicitado mais força para amassa-la. Conforme mostrado no gráfico abaixo, o maior esforço é feito no início do processo.

Figura 18 – Teste da compressão completa da lata



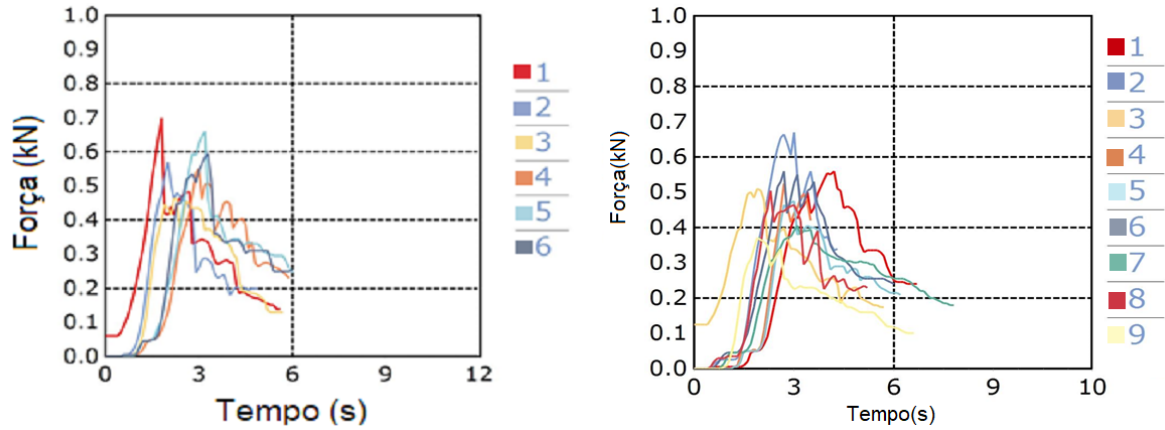
Fonte: Os autores.

Após observações foi possível constatar que o maior esforço ocorre no início do processo, portanto os testes ocorreram até o momento inicial da compressão.

Foi utilizado dois tamanhos de latas nos ensaios, sendo elas de 350 ml e 473 ml, com isso, realizou-se 9 testes de compressão nas latas de 473 ml e 6 nas latas de 350 ml, visando obter a força máxima necessária para amassa-las, força essa, que será levada em consideração para os cálculos do motor apropriado para o projeto.

Os gráficos abaixo representam os testes com as latas de 350 ml e 473 ml, respectivamente.

Figura 19 – Gráficos de compressão da lata de 350 e 473 ml



Fonte: Os autores.

Os dados extraídos dos gráficos estão dispostos na tabela abaixo, em que as colunas 2 e 3 representam os dados do teste de compressão feitos na máquina de ensaio e a coluna 4 representa os dados obtidos no teste amador.

Tabela 4 – Força necessária para amassar uma lata

ID	Teste na máquina de ensaio		Teste amador
	Lata 350 ml	Lata 473 ml	Lata 473 ml
1	0,70	0,56	0,36
2	0,57	0,67	0,36
3	0,47	0,51	0,34
4	0,55	0,53	0,36
5	0,66	0,48	0,37
6	0,59	0,56	
7		0,41	
8		0,51	
9		0,37	
<b>Média</b>	0,59	0,51	0,36

Fonte: Os autores.

Com dados obtidos nos gráficos, observou-se os comportamentos que as latas obtiveram, e através disso o grupo optou por fazer uma máquina que amassasse a lata de 473 ml, pois o fato de a mesma possuir maior comprimento, permitirá que as latas menores também possam ser compactadas na máquina, necessitando apenas adaptar o sistema de modo que a força aplicada seja capaz de amassar as latas de ambos os tamanhos.

### 3.7 Dados obtidos após o teste de compressão da lata

Foram feitos alguns cálculos para encontrar a tensão normal e deformação utilizando os dados obtidos no teste laboratorial.

A tensão normal feita na lata é dada pela formula abaixo retirada do livro (CALLISTER, 2008):

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.6)$$

A área da seção transversal lata é dada por  $\pi \cdot r^2$  que é o calculo de área do círculo, o raio da lata antes de sofrer deformação é  $0,031m$ , logo a área é  $3,02 \cdot 10^{-3}m^2$ . A força exercida sobre a lata é de  $510 N$ .

Com esses dados é visto que a tensão normal exercida sobre a lata é de  $168,87 Kpa$

A deformação sofrida pela lata pode ser calculada pela formula abaixo retirada do livro (CALLISTER, 2008):

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (3.7)$$

em que  $l$  é o comprimento após sofrer deformação e  $l_0$  é o comprimento da lata em seu estado original. Tendo  $l=2,7 \cdot 10^{-2} m$  e  $l_0 = 15,7 \cdot 10^{-2} m$ , a deformação é :

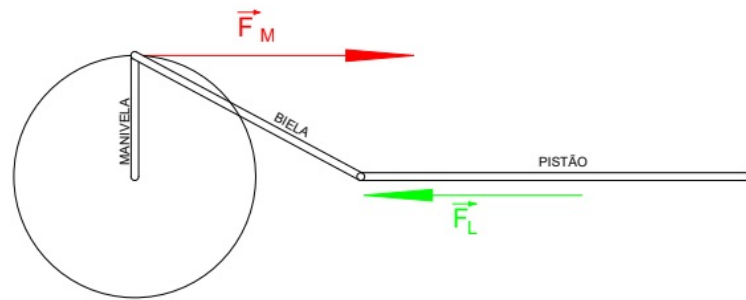
$\varepsilon = -0,83$ , ou seja, a lata sofreu uma compressão de aproximadamente  $83\%$ .

### 3.8 Força do motor

Foi cedido um motor ao grupo para a construção do protótipo, e a partir disso foi possível utilizar cálculos estáticos para o momento em que o pistão começa a comprimir a lata através da configuração existente no motor. Através disto, foram feitos os diagramas de corpo livre da polia e da manivela, tomando em conta que a lata necessita de  $0,51 kN$  para ser comprimida. Os diagramas de corpo livre se encontram no apêndice.

Com os diagramas de corpo livre feitos, foi possível encontrar a força do motor, e aplicar essa força à equação de torque, encontrando dessa forma, o torque necessário para amassar a lata de  $49,7 N \cdot m$ . Visto que o motor oferece um torque de  $39,0 N \cdot m$ , conclui-se que, considerando apenas o cálculo estático o motor não seria capaz de compactar as latas, porém há de se considerar que a força aplicada na lata ocorreria em uma determinada velocidade, desconsiderada no presente cálculo.

Figura 20 – Componentes necessários para encontrar o torque



Fonte: Os autores.

## 4 Resultados e conclusões

Tendo em vista que o projeto deve ser desenvolvido em dois semestres, o grupo optou por nesta primeira parte construir apenas a parte estrutural da máquina, sem entrar diretamente no quesito de compactação da lata, mas sim desenvolver uma estrutura resistente o suficiente para suportar o trabalho que a máquina precisará realizar.

Durante a andamento do projeto grupo deparou com alguns problemas, sendo um deles a escolha de um motor e redutor capazes de compactar todas as latas sem enfrentar problemas de excesso de carga em seu funcionamento. Sendo assim, no próximo semestre de desenvolvimento do projeto este problema deverá ser solucionado de modo a se obter resultados mais precisos com ajuda das próximas disciplinas a serem estudadas.

Abaixo as fotos do projeto com sua parte estática pronta, a foto da esquerda com as latas mostrando sua capacidade e a esquerda sem as latas.

Figura 21 – Protótipo



Fonte: Os autores

Em virtude do que foi mencionado, o grupo conclui com êxito todas as tarefas que foram propostas para desenvolvimento do projeto utilizando as disciplinas do período correspondente ao TAI III.

# Referências

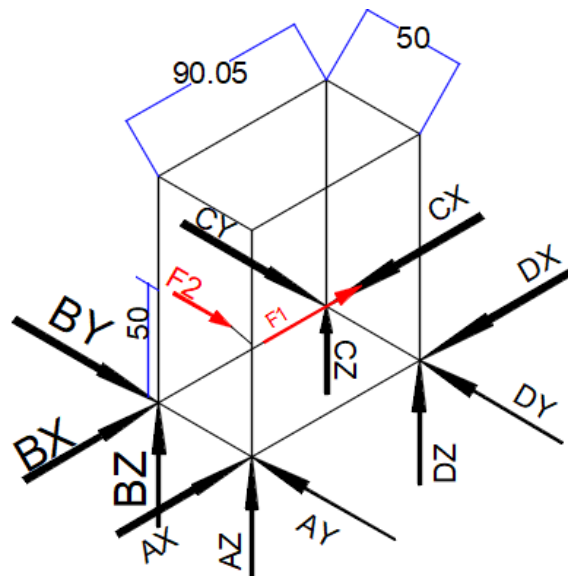
- ABRALATAS. *BRASIL: Capacidade de produção e produção efetiva de latas de alumínio para bebidas – 1997 a 2017*. 2018. Disponível em: <<http://www.abralatas.org.br/grafico/brasil-capacidade-de-producao-e-producao-efetiva-de-latas-para-bebidas-1997-a-2013/>>. Acesso em: 11 março 2019. Citado na página 4.
- ABRALATAS. *MUNDO: Índices de reciclagem da lata de alumínio para bebidas – 1991 a 2017 (em %)*. 2018. Disponível em: <<http://www.abralatas.org.br/grafico/grafico-8/>>. Acesso em: 10 março 2019. Citado na página 4.
- ABRALATAS. *Reciclagem da latinha injetou 1,2 bilhão na economia*. 2018. Disponível em: <<http://www.abralatas.org.br/reciclagem-da-latinha-injetou-r-12-bilhao-na-economia/>>. Acesso em: 09 março 2019. Citado na página 5.
- BRAZ, V. *Aluno de Engenharia Mecânica desenvolve amassador de latinhas*. 2017. Disponível em: <<https://www.uninassau.edu.br/noticias/aluno-de-engenharia-mecanica-desenvolve-amassador-de-latinhas>>. Acesso em: 09 março 2019. Citado na página 8.
- CALLISTER, W. D. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. Citado na página 20.
- ECYCLE, E. *O que é Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)?* Disponível em: <[encurtador.com.br/oxPQY](http://encurtador.com.br/oxPQY)>. Acesso em: 09 março 2019. Nenhuma citação no texto.
- GILAT, A. *Matlab com aplicações em engenharia*. 4. ed. Porto alegre: Bookman, 2012. Citado 3 vezes nas páginas 7, 14 e 15.
- HIBBLER, R. *Estática - Mecânica para Engenharia*. 7. ed. Rio de Janeiro: Pearson, 2010. Nenhuma citação no texto.
- NORTON. *Projeto de máquinas*. 4. ed. Rio de Janeiro: Bookman, 2013. Citado na página 7.
- REVISTA-ALUMÍNIO. *Brasil é o país que mais recicla lata de alumínio. Entenda como funciona o ciclo*. 2018. Disponível em: <<https://revistaaluminio.com.br/brasil-e-o-pais-que-mais-recicla-lata-de-aluminio-entenda-como-funciona-o-ciclo/>>. Acesso em: 09 março 2019. Citado na página 6.
- STEWART, J. *Cálculo Vol.2*. 7. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013. Citado na página 27.
- TIPLER PAUL A.; MOSCA, G. *Física para Cientistas e Engenheiros Vol.2*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. Nenhuma citação no texto.
- UNIBRASIL. *Alunos de Engenharia apresentam projeto de reciclagem de latas*. 2016. Disponível em: <<https://www.unibrasil.com.br/alunos-de-engenharia-apresentam-projeto-de-reciclagem-de-latas/>>. Acesso em: 2016. Citado na página 7.



# APÊNDICE A – Cálculos utilizados no projeto

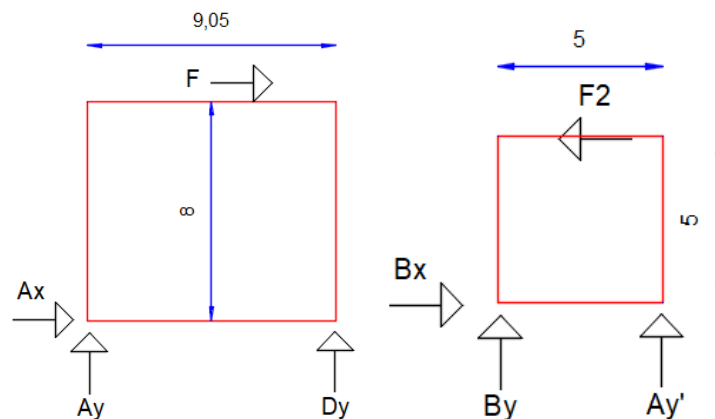
## Cálculos nos esforços do redutor

Figura 22 – Diagrama de corpo livre do redutor



Fonte: Os autores.

Figura 23 – Vistas 1 e 2 respectivamente, do diagrama de corpo livre do redutor



Fonte: Os autores.

Vista 1:

$$\sum F = 0 \quad \sum F_x = 0 \quad \vec{F} = 6,24 \cdot 10^{-3} \text{ N} \quad A_x + F = 0 \quad A_x = -F$$

$$\sum F_y = 0 \quad A_x + D_y = 0 \quad A_x = -D_y$$

$$\sum M_a = 0 \quad -F(8 \cdot 10^{-2}) + Dy(9,05 \cdot 10^{-2}) = 0$$

$$Ax = -6,24 \cdot 10^{-3} \text{ N} \quad Ay = -5,51 \cdot 10^{-3} \text{ N} \quad Dy = -5,81 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Vista 2:

$$\sum F = 0 \quad \sum F_x = 0 \quad Bx - F_2 = 0 \quad Bx = F_2$$

$$\sum F_y = 0 \quad Ay + By = 0 \quad Ay' = -By$$

$$\sum M_b = 0 \quad F_2(5 \cdot 10^{-2}) + A'y(5 \cdot 10^{-2}) = 0$$

$$A'y = -F_2 \quad -F_2 = -By \quad By = F_2 \quad F_2 = Bx = By = 600 \text{ N} \quad Ay' = -600 \text{ N}$$

### Cálculo da posição do pistão

A posição do pistão em relação ao centro da polia é representada pela soma das distâncias  $d_1 + d_2$ .

É visto que  $d_1 = r \cdot \cos(\theta)$

$d_2$  pode ser encontrada através do Teorema de Pitágoras, logo  $d_2$  :

$$d_2 = \sqrt{c^2 - h^2} = \sqrt{c^2 - r^2 \cdot \text{sen}^2(\theta)} \quad (\text{A.1})$$

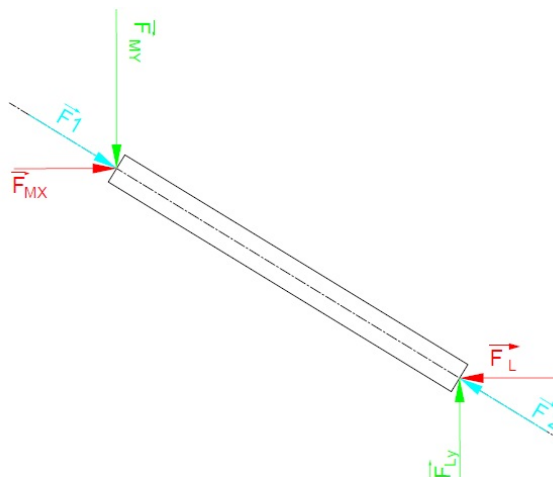
Com isso temos que a posição do pistão é dada por:

$$x = d_1 + d_2 = r \cdot \cos(\theta) + \sqrt{c^2 - r^2 \cdot \text{sen}^2(\theta)} \quad (\text{A.2})$$

### Cálculo da força do motor

Fazendo o diagrama de corpo livre da biela é possível encontrar a força do motor, uma vez que já se tem a força necessária para compactar a lata de alumínio igual a 0,51 kN ou 510 N. Segue abaixo o diagrama de corpo livre e os cálculos referentes ao mesmo.

Figura 24 – Diagrama de corpo livre da biela

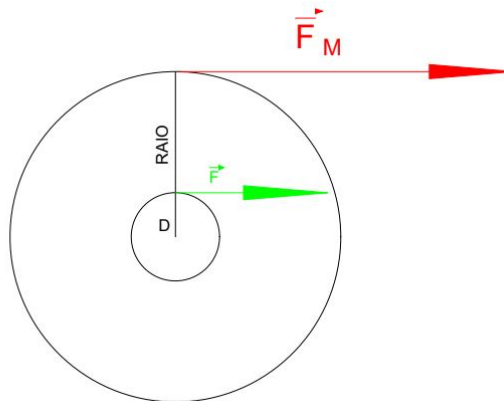


Fonte: Os autores.

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_m - F_L = 0 \rightarrow F_m = F_L = 510N$$

Com a força do motor encontrada foi possível realizar o cálculo do torque no momento em que o pistão começa a compactar a lata. Segue abaixo o diagrama de corpo livre da polia com  $Raio = 0.0975$  m e o cálculo do torque na polia.

Figura 25 – Diagrama de corpo livre da polia



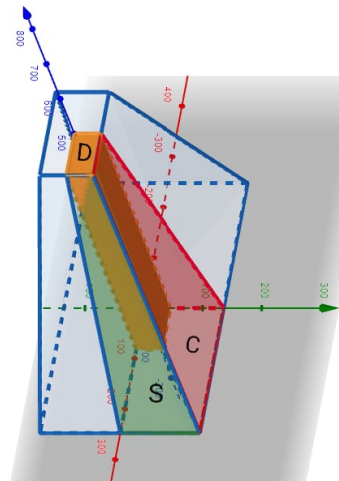
Fonte: Os autores.

$$\tau = F_m \cdot Raio$$

$$\tau = 49.5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

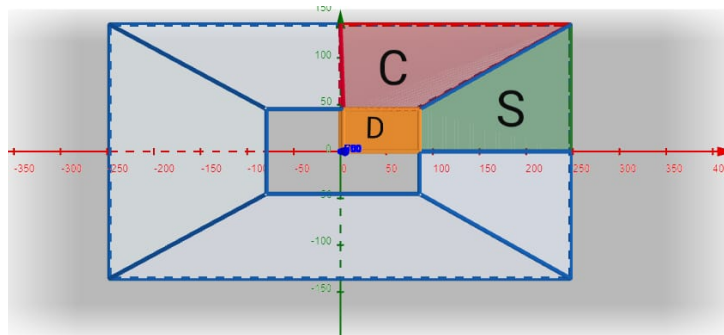
### Cálculo de volume da seção de pirâmide(Funil)

Figura 26 – Vista isométrica da seção de pirâmide no *Geogebra*



Fonte: Os autores.

Figura 27 – Vista superior da seção de pirâmide no *Geogebra*



Fonte: Os autores.

Região S: O domínio da integral dupla da região S é dada por:

$$S = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid 82,5 \leq x \leq 247,0; 0 < y < 0,5484x + 0,007\}$$

A integral é:

$$\int_{82,5}^{247,5} \int_0^{0,5484x+0,007} (-3,03x + 749,93) dy dx$$

Resolvendo:

$$\int_{82,5}^{247,5} [-3,03xy + 749,93y]_{0,5484x+0,007}^0 dx$$

$$\int_{82,5}^{247,5} [-3,03x(0,5484x + 0,007) + 749,93(0,5484x + 0,007)] dx$$

$$\int_{82,5}^{247,5} (-1,66x^2 - 0,021x + 411,2x + 5,24) dx$$

$$\left[ \frac{-1,66x^3}{3} - \frac{0,021x^2}{2} + \frac{411,2x^2}{2} + 5,24x \right]_{82,5}^{247,5}$$

Aplicando o teorema fundamental do cálculo do livro (STEWART, 2013), temos  $3116874,75 \text{ mm}^3$  ou  $0,003116875 \text{ m}^3$ .

Região D: O domínio da integral dupla da região D é dada por:

$$D = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid 0 \leq x \leq \frac{y}{0,5484} - 0,007; 45,25 < y < 135,75\}$$

A integral é:

$$\int_{45,25}^{135,75} \int_0^{\frac{y}{0,5484}-0,007} (-5,5248y + 750) dx dy$$

Resolvendo:

$$\int_{45,25}^{135,75} [-5,5248yx + 750x]_0^{\frac{y}{0,5484}-0,007} dy$$

$$\int_{45,25}^{135,75} [-5,5248y(\frac{y}{0,5484} - 0,007) + \frac{750y}{0,5484} - 5,25] dy$$

$$\left[ \frac{-10,07y^3}{3} + \frac{0,03y^2}{2} + \frac{750y^2}{1,0968} - 5,25y \right]_{135,75}^{45,25}$$

Aplicando o teorema fundamental do cálculo, temos  $3114811,713 \text{ mm}^3$  ou  $0,003114812 \text{ m}^3$ .

Somando-se a região C e a região S temos  $0,006231687 \text{ m}^3$ . É observado que o volume da seção e pirâmide é dado por 4 vezes a região C e S mais um incremento de volume.

$$4 \cdot 0,006231687 = 0,024926 \text{ m}^3.$$

A região D é dada por  $(82,5 \cdot 45,25 \cdot 500) \cdot 4 = 7466250 \text{ mm}^3$  ou  $0,00746625 \text{ m}^3$ .

Somando as regiões temos  $0,03234 \text{ m}^3$ , aproximadamente 32 litros. Como o volume estipulado é de 50 litros, resta 18 litros, volume esse que será dado por um paralelepípedo. Determinado a altura desse paralelepípedo:  $0,495 \cdot 0,2715 \cdot h = 0,018$ . Portanto o paralelepípedo terá altura de 0,134 metros.

### Cálculo de volume do compartimento de latas

O volume é dado pela multiplicação da área da base pela sua altura, logo:

$$V = X \cdot Y \cdot Z \quad (\text{A.3})$$

Como o compartimento se trata de uma caixa sem a face superior (tampa), a área é dada por:

$$A = X \cdot Y + 2 \cdot X \cdot Z + 2 \cdot Y \cdot Z \quad (\text{A.4})$$

O objetivo é minimizar a área A, sabendo que o volume V é  $29920 \text{ cm}^3$ . Devido a não haver comprimento negativo, essas são as restrições e podem ser representadas simbolicamente por:

$$f(x) = \begin{cases} X \cdot Y \cdot Z = 29920 \\ X, Y, Z > 0 \end{cases}$$

Como, pelo volume,  $X \cdot Y \cdot Z = 29920$ , temos  $Z = \frac{29920}{X \cdot Y}$ , a área a ser minimizada pode ser expressa como função de duas variáveis X e Y, substituindo Z na equação A.4 temos:

$$A = X \cdot Y + \frac{59840}{Y} + \frac{59840}{X} \quad (\text{A.5})$$

Calculando as derivadas parciais em relação a x e y:

$$\frac{\partial A}{\partial x} = y - \frac{59840}{x^2} \text{ e } \frac{\partial A}{\partial y} = x - \frac{59840}{y^2}$$

Igualando as derivadas a 0, temos que:

$$f(x) = \begin{cases} y - \frac{59840}{x^2} = 0 & (1) \\ x - \frac{59840}{y^2} = 0 & (2) \end{cases}$$

Isolando  $y$  em (1) e substituindo em (2) temos que os valores possíveis para  $x$  seriam 0 e 39.11. Porém como visto anteriormente,  $X$ ,  $Y$  e  $Z$  devem ser maiores que 0. Logo  $X = 39.11$  cm.

Substituindo o valor de  $X$  em (1) ou (2) obtemos o valor de  $Y = 39.11$  cm.

Com isso é visto que o ponto  $P(39.11, 39.11)$  é um ponto crítico da função. Para determinar se o ponto crítico encontrado é um ponto de mínimo, ou seja, as dimensões onde é minimizado o gasto de material, é necessário o cálculo do hessiano e derivada segunda da função em relação a  $x$  aplicados no ponto.

Cálculo do Hessiano:

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 A}{\partial y \partial x} \\ \frac{\partial^2 A}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{vmatrix}$$

Com os valores das derivadas parciais temos que o hessiano é  $4 - 1 = 3$ . Como o hessiano encontrado é  $> 0$  e  $\frac{\partial^2 A}{\partial x^2} > 0$ , o ponto  $P(39.11, 39.11)$  é ponto de mínimo. Substituindo os valores de  $X$  e  $Y$  em A.3, encontramos que  $Z = 19.56$  cm. Logo, as dimensões de  $X$ ,  $Y$  e  $Z$  que minimizam a quantidade de material a ser utilizada é:  $x = y = 39.11$  e  $z = 19.56$ .