

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**LUCAS PEREIRA VICENTE**

N. CLASS.	M.620.1
GUTTER	V.633b
ANO/EDIÇÃO	2013

**BORRACHA DE VEDAÇÃO VEICULAR E SEUS PROCESSOS**

**Varginha**  
**2013**

**FEPESMIG**

**LUCAS PEREIRA VICENTE**

**BORRACHA DE VEDAÇÃO VEICULAR E SEUS PROCESSOS**

Projeto de Pesquisa apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do centro Universitário do Sul de Minas Gerais - UNIS como pré-requisito para obtenção de grau de bacharel sob orientação do Prof. Me. Luis Carlos Vieira Guedes.

**Varginha**

**2013**

**LUCAS PEREIRA VICENTE**

**BORRACHA DE VEDAÇÃO VEICULAR E SEUS PROCESSOS**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do centro Universitário do Sul de Minas Gerais – UNIS, como pré-requisito para obtenção de grau de bacharel, pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: / /

---

Prof. Me. Luiz Carlos Vieira Guedes.

---

Profa. Esp. Luciene de Oliveira Prospero

---

Prof.:

**OBS.:**

Dedico este trabalho primeiramente a Deus,  
pela força e perseverança dadas durante toda  
minha vida, e principalmente nos últimos  
cinco anos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente á Deus, á toda minha família pelo apoio, e em especial ao meu pai, que sempre tive como exemplo. Faço um agradecimento especial à mulher que faz dos meus dias um melhor que o outro, e que me faz querer cada vez mais estar ao seu lado, á minha futura esposa Caroline Carli.

“Se tiverdes fé, nada vos será impossível.”

Matheus 17:20

## RESUMO

Este trabalho irá demonstrar os processos de produção da borracha de vedação veicular tendo como foco a análise de elementos finitos. Testes foram realizados durante todo o processo, desde o desenvolvimento do produto com softwares de simulação até a montagem no veículo. Também serão mostrados os passos da extrusão do material com a sua geometria determinada, e recortes na peça final. A principal abordagem deste estudo é o impacto do FEA na porcentagem de descarte do produto final, ou seja, a importância das simulações que antecedem a produção da peça, e do desenvolvimento do produto, para que assim seja alcançada a maximização do lucro na empresa.

Palavras - chave: FEA. Análise de Elementos Finitos.

## **ABSTRACT**

*This paper will demonstrate the process of production of rubber sealing vehicular focusing on the finite element analysis. Tests were conducted during the entire process, from the development of product simulation software to assembly in the vehicle. Will also show the steps of extruding the material with its particular geometry, and cutouts in the final piece. The main approach of this study is the impact of FEA in the percentage of disposal of the end product, ie, the importance of the simulations prior to production of the play, and product development, so that it reached the maximization of profit in the company.*

*Keywords: FEA. Finite Element Analysis.*



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2 HISTÓRIA DA BORRACHA.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Propriedades da Borracha Vulcanizada.....</b>	<b>10</b>
2.1.1 Dureza.....	10
2.1.2 Tensão de Ruptura.....	11
2.1.3 Alongamento.....	11
2.1.4 Densidade.....	11
2.1.5 Resistência ao Rasgo.....	11
<b>3 ETILENO PROPILENO DIENO MONÔMERO (EPDM).....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Processamento.....</b>	<b>13</b>
<b>4 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO.....</b>	<b>14</b>
<b>4.1 Modelamento 3D.....</b>	<b>14</b>
4.1.1 Análise de Elementos Finitos.....	14
<b>4.2 Extrusão da Borracha.....</b>	<b>15</b>
4.2.1 Definição.....	16
4.2.2 Extrusoras Tipo Pistão.....	16
4.2.3 Extrusoras Tipo Parafuso.....	16
4.2.4 Extrusoras Tipo Parafuso.....	17
4.2.5 Importânciado Controle de Temperatura na Extrusão.....	20
<b>4.3 Teste de Laboratório.....</b>	<b>21</b>
<b>5 ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>22</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>31</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O trabalho apresenta um estudo de caso sobre borracha de vedação veicular e seus processos, mais concretamente abordando desde o início da sua matéria prima, definição do produto com foco em testes e análise de cada situação do perfil montado em veículos, para fins de aprovação.

O objetivo é apresentar a importância da simulação em empresas do ramo automobilístico, visando alta qualidade e economia do produto, mostrando as diferenças de definição e rapidez no processo de determinação da geometria escolhida.

Está organizado em três partes, iniciando com a matéria prima e sua importância no mercado automotivo, o que constitui um desenvolvimento de produto e seus testes de simulação para aprovação no final da fabricação do mesmo.

A metodologia utilizada foi às pesquisas em laboratório, entrevistas com engenheiros no ramo automobilístico e apostilas de softwares de simulação.

## 2 HISTÓRIA DA BORRACHA

As primeiras notícias relacionadas a Borracha Natural foram relatados por volta de 1500, onde eram utilizadas por nativos da America Central.

O látex era extraído das árvores e transformado em produtos como bolas, capas, botas e recipientes impermeáveis. Era denominado “Caoutchouc” (madeira que chora).

Em meados de 1820 foram feitos testes na borracha, onde ela era aplicada em outros tipos de produtos, porém foi notado que estes ficavam rígidos no inverno, e melosos no verão, o que os identificava com pobres propriedades físicas.

No ano de 1839, Charles Goodyear descobriu que, ao misturar enxofre na borracha, as alterações na temperatura não mais afetavam as suas propriedades, que ficavam ainda melhores. A essa descoberta deu-se o nome de vulcanização. Apesar das melhorias, logo se tentava encontrar outra substância, pois o seu envelhecimento era péssimo, devido as suas delimitações específicas que ocasionavam o rápido envelhecimento do processo. Pequena melhoria já foi conseguida com o óxido de zinco.

Em 1906 Oenslager, descobriu o que seria o primeiro acelerador orgânico, a anilina. Dela derivou-se a tiocarbonilida permitiu uma redução no nível de enxofre com melhora nas características do envelhecimento, sendo o tempo de cura reduzido em 50%.

Em 1921, novas experiências com derivados de tiocarbonilida culminaram com a síntese do mercaptobenzotiazol (MBT), o qual se tornou o primeiro acelerador comercial, realmente seguro, proporcionando muitas vantagens na mistura. (CLAUDINEI, 2008, p. 7).

### 2.1 Propriedades da Borracha Vulcanizada

Após a vulcanização, o composto transforma-se num material forte, elástico e insolúvel. Estas características que irão definir o desempenho do produto no serviço proposto.

Dentre as propriedades físicas básicas e de serviço, temos os seguintes ensaios:

#### 2.1.1 Dureza

Medida por Durômetros. É a resistência oposta à força de penetração de um pino de ponta esférica sob uma carga constante. Este valor é convertido em graus de dureza na escala Shore A, Shore D, ou IRHD. O durômetro de escala Shore A é utilizado para composição até



90 pontos Shore D acima disto. OIRHD é utilizado mais em pesquisas. (ASTM D 2240 e DIN 1415).

Sendo o durômetro um dos equipamentos mais acessíveis quanto a custo dentre outros para ensaios físicos, devemos fazer dele o melhor proveito para que com ele possamos ter mais um apoio na busca do controle de qualidade.

### 2.1.2 Tensão de Ruptura

É a força por unidade de área da secção original do corpo de prova necessário para rompê-lo, sendo sua unidade de medida PSI, Kgf/cm<sup>2</sup> ou MPa (Norma ASTM D 412).

### 2.1.3 Alongamento

É a deformação do corpo de prova sob um determinado esforço, cuja medida é realizada pelo afastamento de 2 traços de referência, marcado no corpo de prova (25,4mm) e dado em % da distância inicial. Geralmente o alongamento considerado é o do momento de ruptura. (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1998).

### 2.1.4 Densidade

Densidade ou peso específico é a massa por unidade de volume do material expressa em g/cm<sup>3</sup>. Esta propriedade é de muito boa utilização para determinar a constituição do composto, volume da mistura. Quando maior for o peso específico do composto, menor será o valor de suas propriedades físicas. (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1998).

### 2.1.5 Resistência ao Rasgo

É a resistência do composto à força de rasgamento. Geralmente ela é proporcional a tensão de ruptura, (Norma ASTM D 624). É expressa em Kgf/cm ou N/mm.(KARDEC; NASCIF, 2009, p. 11).

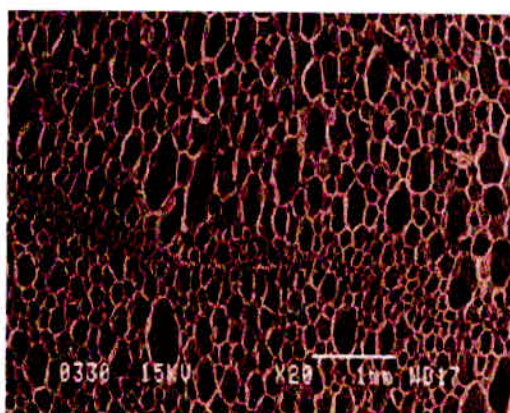
### 3 ETILENO PROPILENO DIENO MONÔMERO (EPDM)

As borrachas de etileno propileno são comercializadas em dois tipos. O copolímero de Etileno propileno com a designação “ASTM” EPDM e o terpolímero de etileno-propileno com a designação “ASTM” EPDM, ambos os tipos se distinguem pelas propriedades não encontradas em outros elastômeros principalmente e insuperável resistência ao Ozônio e ao tempo. Os tipos de dienos atualmente utilizados são 1,4 Hexadieno, Diciclopentadieno, etilidenoNorborneno. Trata-se de um elastômero relativamente novo e os tipos vulcanizáveis com enxofre foram colocados no mercado por volta de 1963.

Por outro lado o EPDM não só devido às suas propriedades insuperáveis ao Ozônio e ao tempo, como também por se tratar de um elastômero comercialmente econômico é largamente utilizado pela indústria, principalmente aquelas que se dedicam à fabricação de perfis, onde este material é preferido pela quase totalidade das indústrias automobilísticas. Segundo Kardec e Nascif, (2009, p. 37) as propriedades principais do EPDM são:

- a) Resistência térmica;
- b) Boa deformação permanente;
- c) Flexibilidade a baixas temperaturas (-95 C);
- d) Resistência química;
- e) Baixo peso específico;
- f) Aceitação de altos níveis de cargas;
- g) Rápido ciclo de mistura;
- h) Boas características de extrusão;
- i) Excelentes propriedades elétricas;
- j) Alta impermeabilidade à água;

Figura 1: Estrutura da borracha EPDM



Fonte: Autor, 2010.

### 3.1 Processamento

Como já foi citado anteriormente, o EPDM apresenta melhores condições de processabilidade em bambury muito embora existam tipos especiais para cilindro, se bem que de qualquer maneira; quando se tratar de composições altamente carregadas e com grandes quantidades de óleo, sempre haverá dificuldades para que se misturem em cilindros, normalmente para compostos de baixa dureza.

O sistema mais comumente empregado em bambury é o sistema inverso, isto é, adicionam-se as cargas de óleo de uma só vez e em seguida a borracha. Este sistema é rápido, econômico e proporciona boa dispersão em ciclo curto. Não deverá ser empregado, entretanto para composições com alta dosagem de óleo a menos que parte do mesmo seja adicionado e separado aos poucos. (CLAUDINEI, 2008, p. 70).



## 4 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

O DP é o modo como as atividades e tarefas relacionadas ao projeto de desenvolvimento de produtos são desenvolvidas. Está relacionado com o gerenciamento do conjunto de atividades para desenvolver um produto. Parte da ideia inicial das necessidades do mercado e das possibilidades tecnológicas considera as estratégicas corporativas, estratégias de negócios e de produto da empresa, até chegar às especificações de projeto de um produto e de seu processo de produção.

O desenvolvimento do produto também envolve o acompanhamento do produto após o lançamento, para realizar mudanças necessárias decorrentes de sua utilização e planejar a sua descontinuidade, envolvendo assim, todo ciclo de vida do produto (ROZENFELD et al., 2006).

### 4.1 Modelamento 3D

O modelamento é feito a partir do produto definido em 2D, hoje em dia vários softwares podem ser utilizados, como os mais comuns (CATIA V4 e V5, NX8 e INVENTOR). É necessário o modelamento, para que o engenheiro de produto defina as condições de acoplamento, cortes e posicionamento do mesmo, ajudando a definir pontos críticos a serem simulados para análise de deformação, e controle no carro, após produto final. (BÉDARD, 2008 p. 23).

#### 4.1.1 Análise de Elementos Finitos

O método dos elementos finitos é uma importante ferramenta computacional para executar cálculos que na prática seriam muito difíceis ou mesmo impossíveis.

Na sua aplicação, o objeto ou sistema é representado por um modelo geométrico similar consistindo de múltiplas regiões conectadas, chamados *elementos finitos*. Equações de equilíbrio juntamente com considerações físicas (como compatibilidade) são levados em considerações e aplicados a cada elemento, levando a um sistema de equações que pode ser resolvido por métodos computacionais e/ou aproximações. Sendo sempre um método aproximado, sua precisão pode ser refinada aumentando-se o número de elementos presentes. (STEVEN. 2008 p.63).

## 4.2 Extrusão da Borracha

O processo de extrusão não é uma técnica dos dias atuais; seu conhecimento data do ano de 200AC. Arquimedes afirmou que os materiais poderiam ser transferidos pela rotação de um fuso ao longo deles.

O fuso de Arquimedes consistia de uma espiral tubular ao redor de um eixo inclinado (ou tubo inclinado) firmemente ligados, similar á rosca de um parafuso. Este o conceito básico foi aplicado à borracha em 1879, quando Matthew Gray registrou a primeira patente de um parafuso contínuo.

Os primeiros fusos de extrusoras consistiam de pequenos cilindros em que a relação entre o comprimento do parafuso e seu diâmetro não excedia 6:1. Estas máquinas eram alimentadas a quente e exigiam o uso do pré-aquecimento do composto em misturadores abertos (cilindros).

A função do cilindro era melhor a mistura para reduzir o nervo (quebra da estrutura do polímero) e baixar a viscosidade, permitindo que o parafuso bombeasse o composto através da matriz.

A capacidade de produção destas máquinas era limitada, uma vez que dependiam do colindro para realizar o brak-down da borracha.

Não havia uniformidade de trabalho realizado pelo cilindro e necessitavam de maior espaço disponível e mão de obra envolvida.

Apesar das limitações, a extrusora a quente tem sido usada na indústria da borracha à mais de 100 anos. Desde seu projeto original, somente foram feitas pequenas modificações como, por exemplo, na profundidade e no passo do parafuso. Também foram desenvolvidas a alimentação automática e o controle de temperatura.

Mesmo nos dias atuais, a extrusão de compostos que exigem alto cisalhamento (à base de borracha natural) requer o uso de misturadores abertos para realizar o break down antes de serem extrudados.

Após a segunda guerra mundial começaram a ser produzidas extrusoras mais longas, capazes de extrusoras a frio possuíam uma relação L/D de aproximadamente 10:1; os desenhos dos parafusos eram de um estagio de bombeamento. Esses equipamentos perdiam sua capacidade produtiva devido à pouca capacidade de transferir calor e de homogeneizar. Foi necessário corrigir as deficiências, o que conduziu os desenvolvimento das modernas extrusoras com alimentação à frio. (ENCINAS, 2008, p. 80-87).



#### 4.2.1 Definição

A extrusão é um processo de conformação de materiais (obtenção de pré-formados) que serão posteriormente vulcanizados. O processo é empregado na fabricação de mangueiras, tubos, perfis, câmaras de ar, bandas de rolagem, fios elétricos, cabos elétricos, etc.

A extrusão impõe-se com técnica importante na indústria da borracha por varias razões. Dentre elas encontra-se:

- a) A complexidade da seção de certos perfis impede o emprego da moldagem, porque a confecção dos moldes convencionais determina custos proibitivos para a fabricação dessas peças;
- b) A extrusão é o único método que permite obter artefatos de grande comprimento em relação a sua seção.

Extrusoras são máquinas que forçam o composto através de uma matriz para dar forma preliminar ou definitiva a este material. ( ENCINAS, 2008, p. 7).

#### 4.2.2 Extrusoras tipo pistão

A pressão requerida para forçar o composto através da matriz é produzida por um pistão. As extrusoras deste tipo são limitadas a máquinas especiais como pré-formadores Barwell. (CELTIN; HERMAN, 2005, p.121).

#### 4.2.3 Extrusoras tipo parafuso

A extrusora ou tráfila, nomes dados ao equipamento que realiza a extrusão, consistem essencialmente de um cilindro oco, no interior do qual gira um parafuso (rosca sem fim ou fuso), e de um cabeçote onde é adaptado a matriz com a forma do extrudado que se deseja obter. Possui ainda uma boca de alimentação por onde é introduzido o material para dentro do cilindro oco.

Classificação das extrusoras tipo parafuso: As extrusoras podem ser classificadas em alimentação à quente e a frio, conforme a relação do comprimento do parafuso (L) e o diâmetro do mesmo (D). a relação L/D varia normalmente na faixa 4:1 a 16:1.

- a) Extrusoras de alimentação a quente: Possuem um intervalo da relação L/D de 5:1 à 8:1. A relação de 5:1 é para operações a pressões mais baixas; a de 8 :1 é destinada a operações a pressões mais altas. É ideal que se tenha um sistema de transporte direto do misturador de

pré-aquecimento à boca de alimentação da extrusora, para assegurar que esta seja constante, além de proporcionar economia de mão de obra. Antes de iniciar a operação de extrusão, a matriz deve ser pré-aquecida. Após a saída da extrusora, é conveniente que o extrudado passe por um tanque de resfriamento, de modo a diminuir o risco de pré vulcanização.

- b) Extrusoras de alimentação á frio. Possuem uma relação de aproximadamente 12:1 e não necessitam de composições pré aquecidas para sua alimentação. Nas extrusoras de alimentação á frio pode-se adaptar um sistema de vácuo para expelir os gases não desejados do composto.

#### 4.2.4 Componentes da extrusora

Neste item são descritos os componentes do equipamento: cilindro oco, parafuso ou rosca sem fim, boca de alimentação, cabeçote (cabeça), matriz e dispositivos.

Cilindro oco: Confeccionado em aço de elevada resistência, comporta uma parede dupla (encamisado) que permite a circulação de um fluido térmico para controle de temperatura (refrigerar o composto no caso de auto-aquecimento ou aquecê-lo para aumentar a plasticidade).

Sistema de aquecimento e resfriamento: O controle de temperatura na superfície interna do cilindro oco e na superfície externa do parafuso é importante para obter-se a eficiência do cisalhamento e do descolamento do material (composto).

Uma extrusora atualmente com alimentação a frio possui pelo menos cinco zonas de controle de temperatura: uma no parafuso, uma no cabeçote e três no cilindro oco.

Um sistema atualmente de controle constitui-se na circulação de uma mistura de água e etilenoglicol através de um circuito fechado, passando na zona em que deve ser controlada a temperatura. O aquecimento é feito através de resistências elétricas, e o resfriamento, através de um fluido externo em um trocador de calor. Um controlador indicador de temperatura tipo PD proporcional derivativo ou PID proporcional integral derivativo controlam o aquecimento ou o resfriamento através de um sensor de temperatura, localizado nas próprias zonas.

Eliminador de ar: Um dispositivo de vácuo pode ser ajustado no cilindro oco para remover os gases ou outra matéria volátil do composto, principalmente nos compostos de viscosidade mais baixa. Os extrudados a vácuo são usados para fazer artigos vulcanizados em processos de vulcanização sem pressão, tais como: vapor direto, ar quente, sais fundidos e leite fluidizado.



A remoção do ar preso e da matéria volátil reduz as chances de desenvolvimento de porosidades durante a vulcanização.

Parafuso ou rosca sem fim: o parafuso é o elemento principal de uma extrusora. Ele confere a denominação deste equipamento. Por exemplo, uma extrusora 60-12D comporta um parafuso de 60mm de diâmetro e 720mm de comprimento (LD=12:1) o parafuso de uma extrusora deve cumprir diferentes funções, tais como:

- a) Assegurar a alimentação regular (as irregularidades podem acarretar variações de pressão e portanto a seção do extrudado);
- b) Completar a plastificação do composto e reomogeneizá-lo por trabalho mecânico, sobretudo se a alimentação se fizer com composto frio;
- c) Comprimir o composto ao nível da matriz para obter um perfil regular e sem porosidades
- d) Contribuir com o resfriamento e o aquecimento do composto nos casos que o parafuso permite a circulação de fluido térmico, como são comuns em muitas extrusoras atualmente.

Por essas diferentes razões, a forma e o comprimento do parafuso são fatores primordiais. Quanto mais longo for o parafuso, mais regular será a alimentação, mais elevada será a pressão sobre a matriz e mais intensa serão os efeitos de cisalhamento sobre o composto.

A tendência atual é alimentar as extrusoras com tiras ou grânulos frios de composto e, portanto, utilizar parafusos longos (>16D). No caso de se utilizar grânulos, o comprimento deve variar em torno de 20D.

O desenho do parafuso ideal deve cumprir as diferentes funções anteriormente mencionadas com a máxima eficiência para grande variedade de tipos de compostos, entretanto o parafuso ideal ainda é uma utopia.

Os desenhos comerciais de parafusos freqüentemente resultam em compromissos, tais como vazão, temperatura de extrusão, pressão de retrocesso e cisalhamento. Este ponto em que o usuário final, entendendo de seu processo de extrusão, toma decisões concernentes ao tipo de parafuso para os quais estes compromissos são otimizados.

Consiste de três distintas seções, uma de alimentação, com profundidade da aleta maior, uma de transição, onde existe uma redução gradual na profundidade da aleta e uma dosadora na extremidade da extrusora.

Os modelos de parafuso simples produzem planos laminares de composto e promove pequena troca de material entre as camadas.

As camadas mornas de material que entram em contato com o parafuso e as áreas do cilindro oco permanecem estratificadas. A borracha fria no núcleo demora para aquecer porque ela é isolada da própria camada exterior morna devido à baixa condutividade térmica da borracha. Este efeito está presente ao longo de todo o comprimento do parafuso, causando dificuldades em obter uma ótima homogeneização do material. O perfil desigual de temperatura é manifestado na seção de corte do extrudado, como áreas enrugadas, e em variações dimensionais inaceitáveis.

Parafusos mais complexos podem ser desenvolvidos para atender os objetivos de otimizar a produção com um mínimo aumento de temperatura e de melhorar as características de homogeneização.

São desenvolvidas diversas modificações que podem ser introduzidas nos desenhos do parafuso, as quais podem ser apresentadas em três categorias: seções estratégicas de homogeneização, extensão da seção de homogeneização e seções com barreiras, que são a seguir descritas:

a) Seções estratégicas de homogeneização:

Uma das formas consiste na introdução de pinos no cilindro da extrusora.

Pinos montados no cilindro dão um caminho efetivo para interromper ou quebrar os planos laminares e aumentar a homogeneização sem usar altas razões de cisalhamento. A ação de pinos determina também um aumento de produção, devido ao fato de aumentar-se o atrito na parede interna do cilindro.

b) Extensão da seção de homogeneização:

Outro método para obter melhoria na homogeneização é estender sua seção. Isto geralmente resulta em extrusoras com a relação  $L/D$  mais longa, aproximadamente 20:1. A ação de homogeneização é proveniente da alternância entre baixa e alta ação de atrito ao longo do parafuso.

Uma das desvantagens deste sistema é o elevado tempo de permanência do composto dentro do cilindro oco, o que pode acarretar dificuldades com a temperatura.

c) Seções com barreiras:

Aletas intermediárias são introduzidas ao longo do parafuso, no meio da aleta principal, formando uma espécie de barreira. O material é forçado a passar através das barreiras, produzindo-se uma alta taxa de cisalhamento; obtém-se, desta forma, maior homogeneização do material.

Este tipo de parafuso é bem sucedido, pois o aumento de temperatura, o aumento de pressão e a redução da vazão são minimizados. Dois tipos de parafuso especialmente



desenvolvidos para extrusoras com alimentação a frio: no primeiro caso, a homogeneização se processa nas chamadas seções de homogeneização dispostas ao longo do parafuso; no segundo caso, ao longo das aletas intermediárias que formam barreiras de homogeneização (zonas de restrição de volume). Obviamente, estes incrementos têm seu ônus em custo e devem ser avaliados pelo usuário do equipamento.

Como mencionada anteriormente, o usuário deve estar atento às necessidades do processo e selecionar convenientemente o desenho do parafuso para a referida aplicação.

A folga entre o parafuso e o cilindro oco é previamente projetada na fábrica de acordo com o tipo de equipamento, ou seja, extrusora com alimentação a quente ou a frio. Considera-se que um parafuso está desgastado quando sua folga é de cinco vezes a folga original com que o equipamento saiu da fábrica (CIMM, 2013).

#### 4.2.5 Importância do controle de temperatura da extrusão

As extrusoras que têm superfícies metálicas com temperaturas descontroladas dão quantidades descontroladas de trabalho no composto da borracha.

A transferência de calor de um material para outro pode ser descrita em função da diferença de temperatura, de espessura, da quantidade de área superficial e da condutividade térmica do material envolvido.

A condutividade térmica relativa do aço é cerca de 200 vezes a da borracha.

Para remover o calor de atrito através do parafuso e do cilindro, é necessário transferir o calor da borracha para o aço. Para conseguir bom fluxo de calor, novas superfícies da borracha devem ser expostas às superfícies metálicas.

Esta condição é chamada fluxo turbulento. Para conseguir turbulência no composto de borracha, é necessário que este agarre nas superfícies metálicas, possibilitando o atrito.

O agarramento da borracha depende da rugosidade e lubrificação das superfícies e da temperatura da borracha e do metal. A melhor temperatura é a mais baixa possível, que dá um coeficiente de atrito suficientemente alto..

Ambas extrusoras de alimentação a frio ou a quente são projetadas para otimizar o controle da temperatura. Em geral, as extrusoras de alimentação a frio requerem sistemas de controle de temperatura mais sofisticados.

O intervalo de temperatura, que pode ser individualmente controlado pelo sistema de controle de temperatura para diferentes partes do extrudado é chamado de perfil de temperatura (VEILLE, 2009).

#### **4.3 Teste de Laboratório**

Os testes de laboratório são fundamentais para que o produto esteja conforme durante toda a sua produção, sendo testados diariamente por equipes especializadas e bem preparadas.

As principais etapas de teste em vedação veicular são:

- a) Teste de compressão
- b) Teste de cisalhamento
- c) Teste de inserção
- d) Teste de extração (RAIMBAULT; 2007).

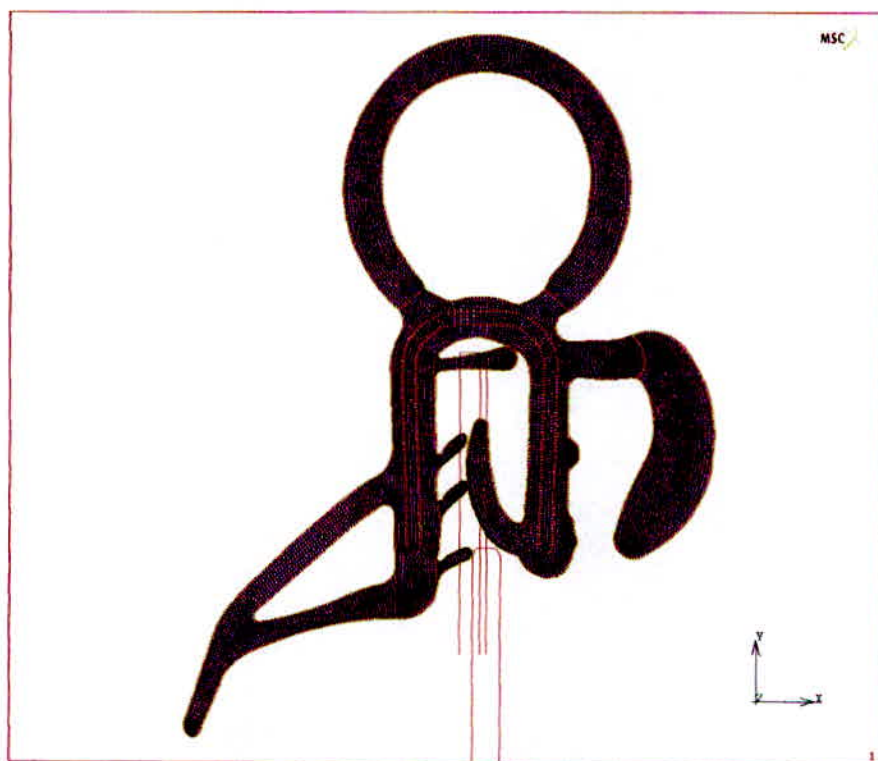
## 5 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso é mostrar claramente as vantagens de utilizar o software de simulação, para que nas perdas no final do processo esteja no percentual tolerável para a empresa.

A peça utilizada nos testes foi a guarnição de porta malas da montadora zy, onde foram analisados as perdas de peça de 2 anos atrás que não utilizaram simulações computacionais, e sua geometria é muito similar a atual.

Com isso podemos comparar a evolução e o impacto positivo utilizando o software.

Figura 2: Guarnição de porta malas antigo.



Fonte: O autor, 2013.

O desenho de produto especificado pela própria montadora informa que para o teste de inserção da peça na carroceria deve estar entre 20 a 50N/100mm e no teste de extração deve estar >80N.

Abaixo segue o gráfico de descarte de peças antigas não aprovadas nos testes de inserção extração:

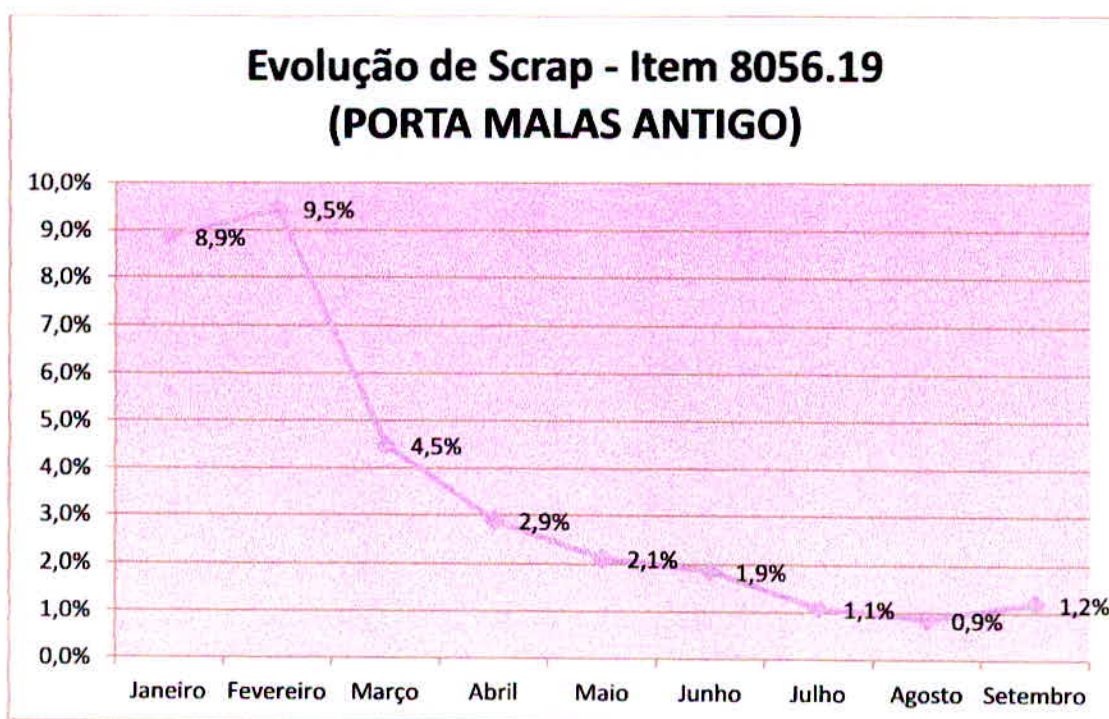


Tabela 1: Relatório de descartes inicial.

<b>PORTA</b>			
<b>MALAS</b>			
<b>2011</b>			
	<b>Produzido</b>	<b>Scrap</b>	<b>%</b>
Janeiro	700	62	8,9%
Fevereiro	2000	189	9,5%
Março	4500	202	4,5%
Abril	4500	130	2,9%
Maio	3500	74	2,1%
Junho	3500	65	1,9%
Julho	3500	38	1,1%
Agosto	3500	30	0,9%
Setembro	2000	24	1,2%

Fonte: O autor, 2013.

Gráfico 1: Evolução de Scrap inicial.



Fonte: O autor, 2013.



Podemos analisar pelo gráfico que a porcentagem de descartes de peças durante 9 meses é muito elevada e com o passar dos meses o volume de peças vai diminuindo, pois testes e mais testes é aplicado ao decorrer da produção, fazendo com que o perfil chegue a sua forma mais apta a montagem.

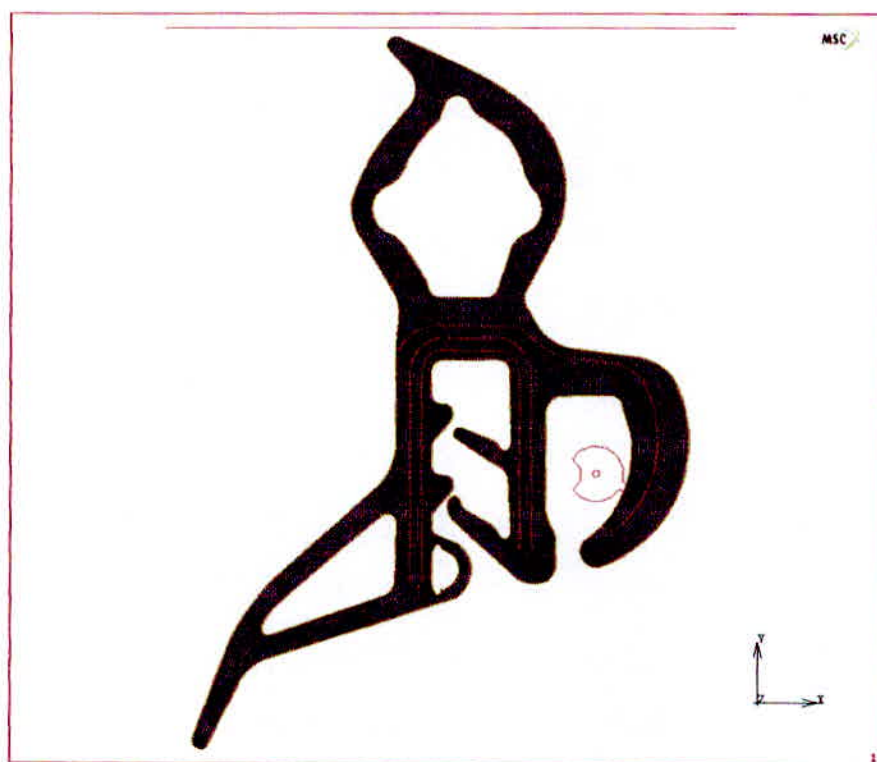
No ano de 2011 a empresa determinava um descarte  $< 2\%$ .

No início de 2013 a peça guarnição de porta malas voltou a ser fabricada, com isso foi o sucesso para o meu estudo, tendo a comparação de melhorias que ocorreu, pois a empresa adquiriu o software de simulação em meados de 2012, sendo possível realizar vários testes antes de iniciar a produção.

Os testes tiveram início em novembro de 2012, onde ocorreu o estudo FEA para analisar a melhor geometria que atendia as especificações.

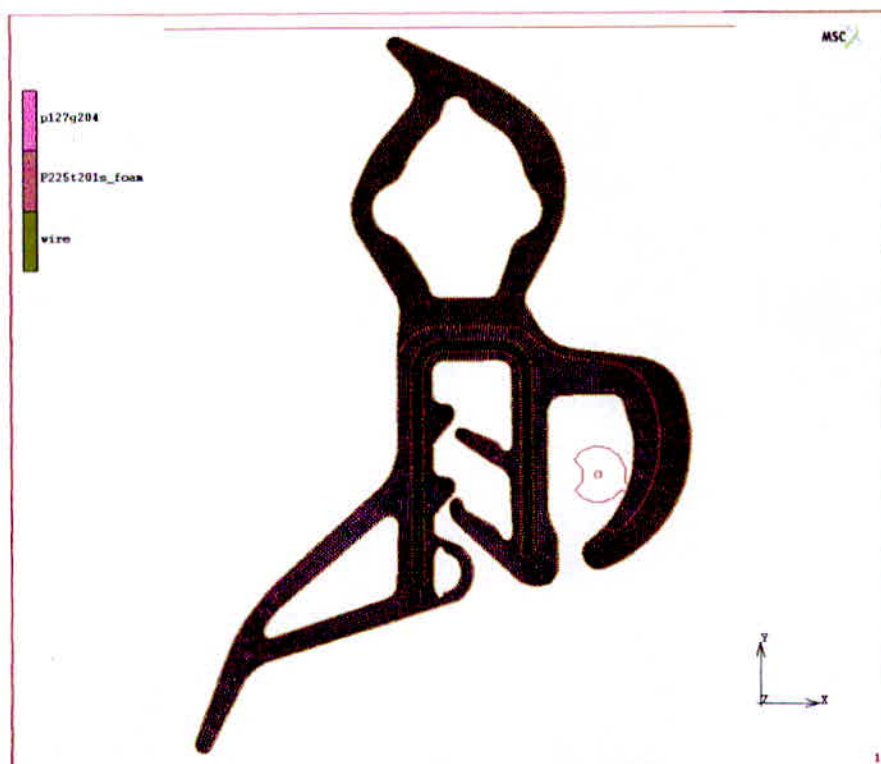
Abaixo imagem da nova geometria:

Figura 3: Nova guarnição porta malas.



Fonte: O autor, 2013.

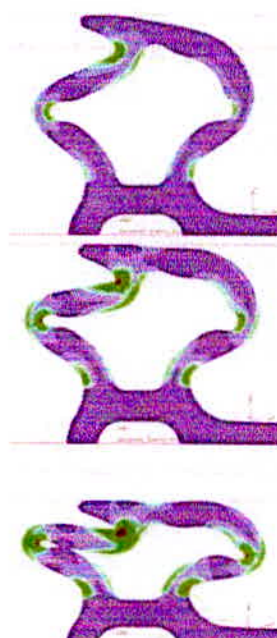
Figura 4: Nova guarnição porta malas com materiais.



Fonte: O autor, 2013.

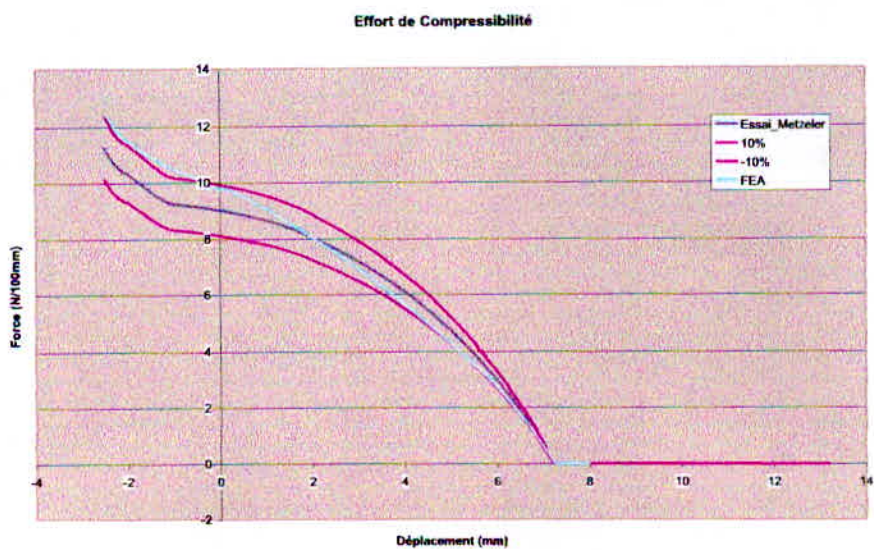
Testes de compressão foram realizados antes que a peça entrasse em produção, verificando as três situações mais críticas.

Figura 5: Testes de compressão.



Fonte: O autor, 2013.

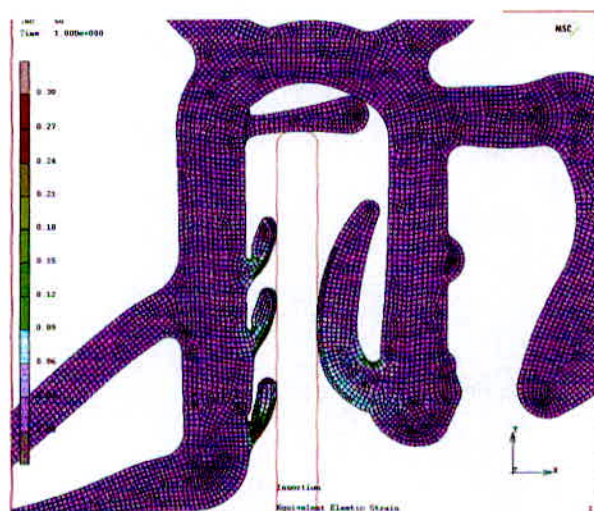
Gráfico 2: Gráfico de compressão.



Fonte: O autor, 2013.

Os testes de compressão demonstraram que o novo bulbo utilizado foi aprovado de acordo com as especificações do desenho de produto.

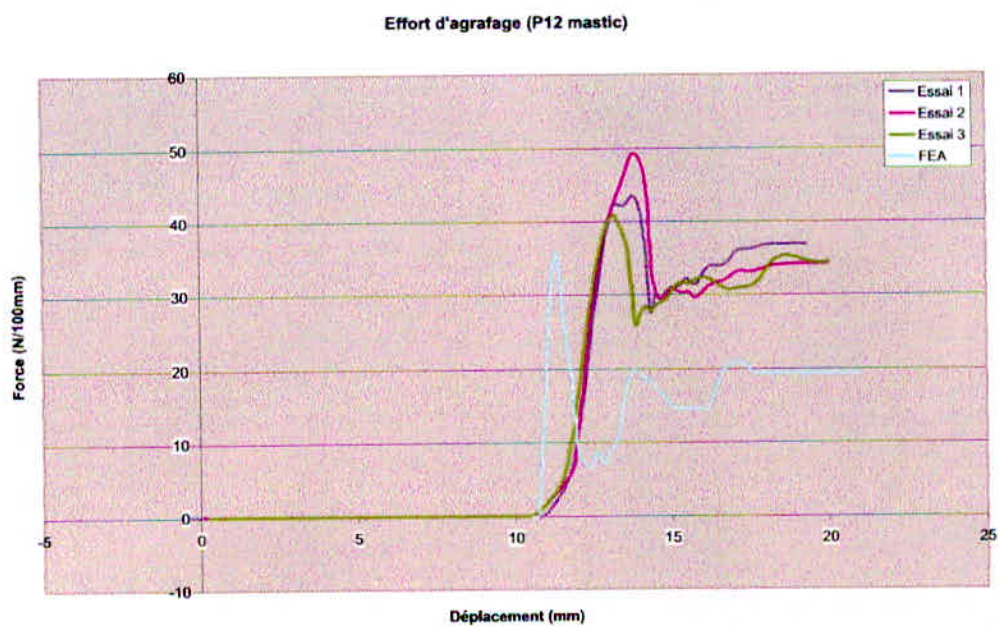
Figura 6: Testes de inserção.



Fonte: O autor, 2013.



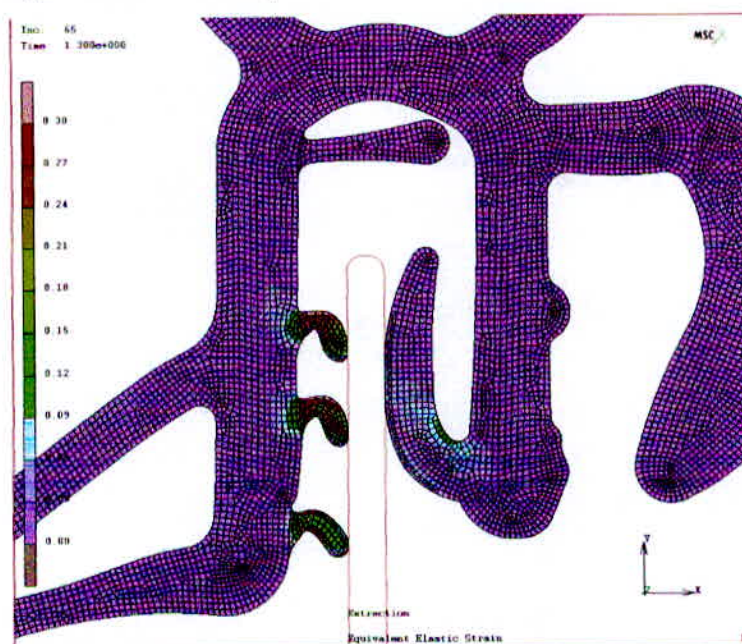
Gráfico 3: Testes de inserção.



Fonte: O autor, 2013.

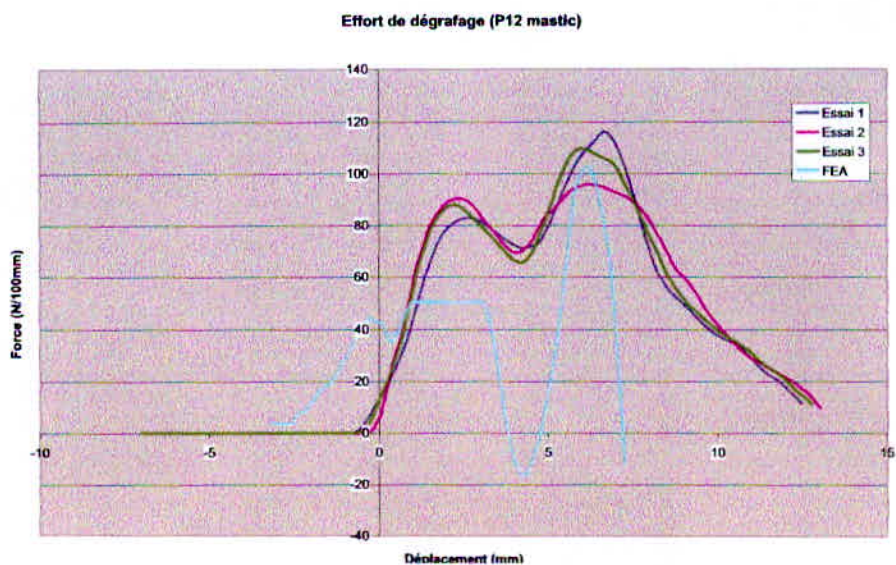
Pelas cores podemos analisar onde estão correndo os maiores esforços na peça, com isso podemos solucionar eventuais problemas de ruptura da borracha.

Figura 7: Testes de extração.



Fonte: O autor, 2013.

Figura 8: Testes de extração.



Fonte: O autor, 2013.

Podemos analisar que os testes realizados foram todos aprovados, fazendo com que a peça inicia-se o processo de produção, onde tivemos os seguintes resultados de descartes:

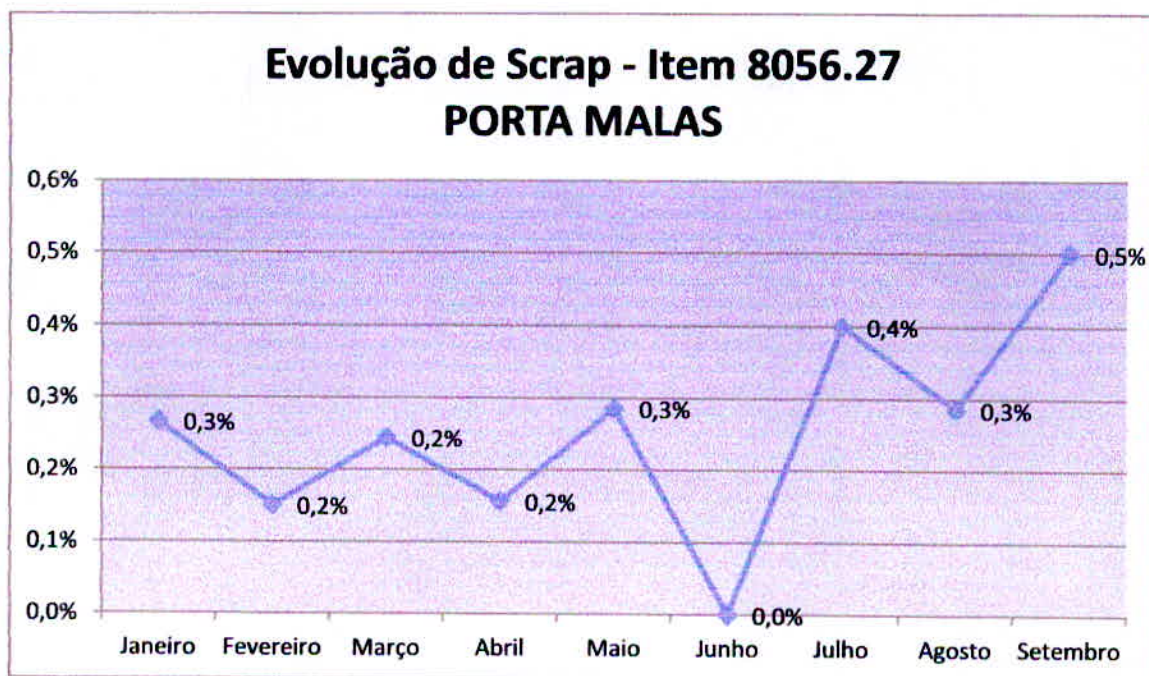
Tabela 2: Relatório de descartes final.

<b>PORTA MALAS</b>	<b>2013</b>	<b>MÁX.</b>	<b>1,30%</b>
	<b>Produzido</b>	<b>Scrap</b>	<b>%</b>
Janeiro	750	2	0,3%
Fevereiro	2000	3	0,2%
Março	4500	11	0,2%
Abril	4500	7	0,2%
Maio	3500	10	0,3%
Junho	3500	0	0,0%
Julho	3500	14	0,4%
Agosto	3500	10	0,3%
Setembro	2000	10	0,5%

Fonte: O autor, 2013.



Gráfico2: Scrap final.



Fonte: O autor, 2013.

Atualmente a empresa tem a porcentagem máxima de descarte permitido de 1,3% das peças produzidas, apartir de janeiro de 2014 essa porcentagem vai cair para 0,8%, pois as análises e resultados dizem por si só.

Com a aquisição do software de simulação a empresa teve um lucro anual, analisando todo processo, rapidez e peças aprovadas de 0,7%.

## 6 CONCLUSÃO

Com isso se conclui que, as empresas que utilizam software de simulação para aprovação de seus produtos se destacam no mercado e o mais importante, tendo em suas mãos uma ferramenta que pode tornar o seu produto confiável e econômico, tanto em questão financeira quanto na questão de sustentabilidade onde varias toneladas de borracha e metal deixam de ser incineradas, deixando o nível de poluição baixo.

Com o estudo de caso foi analisado o grande ganho na economia da empresa fazendo com que a empresa além das suas economias, ela se destacou no mercado, onde todos buscam tecnologia e rapidez.

## REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Normas ASTM D 412., 1998.
- MSC.SOFTWARE CORPORATION.**Experimental Elastomer Analysis**, 2005. (apostila).
- MSC.SOFTWARE CORPORATION.**Theory and user information**, 2006.volume A:
- BÉDARD, Luc, **Caractérisation dynamique des joints automobiles**. France: CSA, 2008.
- LANOË STEVEN, **Optimization de conception robuste de joints d'étanchéité**, France: CSA, 2008.
- RAIMBAULT Sylvain, *Amélioration de la simulation du cintrage des joints dans les rayons*, France: CSA, 2007-2008.
- ENCINAS, Claudinei. **Extrusoras e processos de extrusão EPDM**. São Paulo: Hutchuon, 2008.
- KARDEC; NASCIF. **Manutenção função estratégica**. São Paulo: Qualy Mark, 2009.
- ROZENFELD et al. **Gestão de desenvolvimento de produto: uma referencia para melhoria do processo**. São Paulo, 2006