

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS**

**ENGENHARIA MECÂNICA**

**MARIA CAROLINA CARNEIRO**

**ANÁLISE DE PARÂMETROS TÉRMICOS DE T90 PARA VULCANIZAÇÃO DA  
BORRACHA**

**Varginha**

**2022**

**MARIA CAROLINA CARNEIRO**

**ANÁLISE DE PARÂMETROS TÉRMICOS DE T90 PARA VULCANIZAÇÃO DA  
BORRACHA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do centro Universitário do Sul de Minas – UNIS, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação da Prof. Dr. Deborah Reis Alvarenga Romano

**Varginha**

**2022**

**MARIA CAROLINA CARNEIRO**

**ANÁLISE DE PARÂMETROS TÉRMICOS DE T90 PARA VULCANIZAÇÃO DA  
BORRACHA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_\_

---

Prof.

---

Prof.

OBS.:

## **AGRADECIMENTOS**

Dedico este trabalho a DEUS que guia todos os meus planos e projetos, sempre da melhor forma pelo caminho idôneo. A minha família, em especial aos meus pais, Patrícia Carneiro e Edson Carneiro, por tudo que representam e pela base em toda esta trajetória, a meus amigos e companheiros de jornada e aos meus professores que me auxiliaram para que eu pudesse concluir este trabalho.

“Deus não joga aos dados.”  
Albert Einstein

## RESUMO

Este trabalho aborda a análise do processo de vulcanização da borracha como tratamento para permitir que o material inicial entre em contato com uma temperatura elevada e sua composição seja alterada, de forma que o produto atenda o processo de fabricação em vedações para automóveis na linha de produção. Esta pesquisa interpela a importância do processo de vulcanização e em especial os parâmetros de T90 utilizados nos fornos micro-ondas e a gás, considerando dados dispostos pelos compostos utilizados na fabricação, o impacto na qualidade do desempenho da vulcanização e os possíveis defeitos e não conformidades causadas por uma falha durante o processo de regulação de temperatura dos fornos e velocidade de esteiras. Para efeito de análise e acareação, alguns testes que analisam e validam a qualidade e especificações do produto final e de um processo de vulcanização foram realizados, é possível citar que para cada produto específico é definido e calculado o tempo e temperatura utilizado visto que cada forno, disposição e espessura de material a ser vulcanizado varia de produto para produto, neste estudo foi avaliado um produto em específico. Esta arguição apresenta uma técnica de controle de parâmetros da de linha de produção visando a melhor aplicabilidade de conceitos e o quanto ela se faz eficiente no diagnóstico de resultados de testes através de análises precisas feitas para o monitoramento da qualidade do produto.

**Palavras -chave:** Borracha. Vulcanização. Parâmetros de T90.

## **ABSTRACT**

*This work addresses the analysis of the vulcanization process of rubber as a treatment so that it allows the initial material to be placed in contact with a high temperature and its composition is changed, so that the final product meets the process in car seals. on the production line. This research questions the importance of the vulcanization process and the T90 parameters used in microwave and gas ovens, considering data provided by the compounds used in the manufacture, the impact on the quality of the vulcanization performance and the possible defects and non-conformities. caused by a failure during the oven temperature and belt speed adjustment process. For the purpose of analysis and measurement, some tests that analyze and validate the quality and specifications of the final product and of a vulcanization process were carried out, it is possible to mention that for each specific product the time and temperature used is defined and calculated since each oven, arrangement and thickness of material to be vulcanized varies from product to product, in this study a specific product was evaluated. This argument presents a production line parameter control technique aiming at the best applicability of concepts and how efficient it is in the diagnosis of test results through precise analyzes made to monitor the quality of the final product.*

**Keywords:** *Rubber. Vulcanization. T90 parameters.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Vedações de automóveis.....	03
Figura 02 – Tipos de vedações para automóveis.....	03
Figura 03 – Esquema de formação de rede elastômera com enxofre.....	07
Figura 04 – Curva reométrica ilustrativa da borracha.....	08
Figura 05 – Presença de material Pré-vulcanizado no perfil.....	10
Figura 06 – Presença de material Pré-vulcanizado no perfil 2.....	10
Figura 07 – Gráfico de parâmetros comparativos de T90.....	11
Figura 08 – Conferência do tempo de permanência de massa na extrusora T5 (Range de 2 a 4).....	13
Figura 09 – Ilustrativo do forno.....	13
Figura 10 – DataPaq dos fornos de vulcanização.....	14
Figura 11 – Ishikawa diagrama.....	15
Figura 12 – Material de controle e inspeção de perfil em linha.....	19

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>01</b>
<b>2 VULCANIZAÇÃO DA BORRACHA .....</b>	<b>02</b>
<b>3 VEDAÇÕES DE AUTOMÓVEIS.....</b>	<b>02</b>
<b>3.1 Material das vedações para automóveis .....</b>	<b>04</b>
<b>3.2 Borracha sintética.....</b>	<b>04</b>
<b>3.3 Polímeros.....</b>	<b>05</b>
<b>4 PROCESSO DE FABRICAÇÃO.....</b>	<b>05</b>
<b>4.1 Processo de extrusão .....</b>	<b>05</b>
<b>4.2 Processo e vulcanização.....</b>	<b>07</b>
<b>5 TRATAMENTO DE VULCANIZAÇÃO NAS VEDAÇÕES DE AUTOMOVEIS.....</b>	<b>09</b>
<b>6 MÉTODO.....</b>	<b>12</b>
<b>6.1 Tempo de passagem do composto nas extrusoras.....</b>	<b>13</b>
<b>6.2 Tempo de passagem do perfil dentro dos fornos.....</b>	<b>13</b>
<b>7 RESULTADOS .....</b>	<b>14</b>
<b>7.1 proposta sob range de T90.....</b>	<b>16</b>
<b>7.2 Propostas de diminuição de temperatura das extrusoras.....</b>	<b>17</b>
<b>8 CONCLUSÃO.....</b>	<b>20</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>22</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

Este trabalho aborda a análise de parâmetros térmicos com foco na análise de T90 de ficha de controle utilizada em uma linha de produção de processo de extrusão da borracha, devido à complexibilidade de se produzir perfis com características físicas específicas para atender a necessidade do cliente. O presente trabalho tem como objetivo apresentar os resultados obtidos através da análise de parâmetros durante quatro processos de fabricação distintos na linha de produção, deste modo que dois destes lançamentos de linha que geram detritos no corpo do perfil durante o processo de fabricação, sendo estes detritos possíveis massas de compostos pré-vulcanizadas nos equipamentos da linha de extrusão de borracha.

O objetivo desta avaliação é demonstrar que para se obter um melhor desfecho no processo de vulcanização em vedações para automóveis, possibilitando atender a especificações de cada produto, cabe ressaltar que é importante para a realização de análise dos parâmetros a serem utilizados na linha de produção e adaptação dos mesmos dedicada a seu respectivo perfil de produção, em comparativo com testes de laboratório de aprovação final do produto pela engenharia de qualidade e o cliente final.

## **2 VULCANIZAÇÃO DA BORRACHA**

No século XVI, os europeus utilizavam a borracha em alguns jogos de bolas ameríndios. Com o passar dos anos, a borracha teve outras utilidades. O uso em borrachas escolares de apagar escritas e capas de chuva fez-se com que os europeus não a utilizassem de outra forma, pois, com a ação do calor ela fia colada e no frio fica com uma aparência e textura quebradiça. Em 1839 Charles Goodyear inventou um processo denominado vulcanização. A borracha era então termicamente tratada, e isto fazia com que esta ficasse termicamente mais resistente, mais elástica e a mesma tinha sua forma sustentada. Contudo, segundo Robert Schuster, diretor do Instituto de Tecnologia da Borracha em Hannover, a aplicação do material era utilizada apenas em alguns calçados impermeáveis, bolsas de água quente e algumas capas de chuva.

Em 1880 com a utilização de rodas pneumáticas nos automóveis fez com que a borracha se tornasse um material astucioso e hábil. Depois de alguns anos de experimentos, Fritz Hofmann apresentou, no ano de 1909, a borracha-metil. De acordo com Robert Schuster foi o início da utilização de um produto natural que se reproduzia em laboratório. Entretanto, o processo utilizado pelo químico era ardoroso de forma que fosse trabalhado em grande escala, além de que exigia semanas para a finalização. No final da década de 1920 o químico Walter Bock, descobriu uma nova maneira o polibutadieno, uma combinação de butadieno e sódio, Em 1933 quando os Nazistas tomaram conta do território alemão, entenderam o enorme potencial do material. Em 1936 Adolf Hitler mandou construir autoestradas e a então fabrica da Volkswagen, onde eram fabricados os pneus de borracha (Becker, 2009).

## **3 VEDAÇÕES DE AUTOMÓVEIS**

Hodiernamente no mercado existem uma infinidade de empresas para atendimento da indústria automotiva mundial, com isso é passível de entendimento a importância d estudo de cada produto buscando otimizar suas aplicações e particularidades (SLACK, 2002; SLACK ET AL, 2002, OSÓRIO ET AL, 2004; LIMA; OSÓRIO, 2008).

Figura 1 – Vedações de automóveis

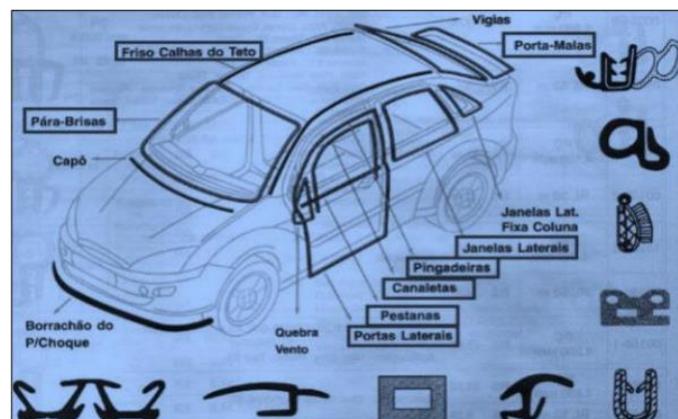


Fonte: SENAI, 2010

Analisando os principais itens de produção da empresa é demonstrada abaixo:

- a) Guarnição de para-brisa: Função de fixar e vedar os vidros do para-brisa e realizar o acabamento entre a lataria e o vidro.
- b) Canaletas Dianteira e Traseira: Peça que fica nas colunas e nas partes superior das portas, realiza o deslizamento do vidro sem que trave o mesmo e realiza a função de absorve o impacto no fechamento dos vidros e portas.
- c) Friso de Teto: Peça que tem a função de escoar e não direcionar água para as portas.
- d) Guarnição de Porta-malas e Portas: Tem como função a vedação, absorção de impacto e acabamento interno. Impedindo a entrada de água, poeira e demais resíduos no interior do veículo.
- e) Pingadeiras: Escoar e não direcionar água para as portas. 4
- f) Pestanas: Peça fundamental para o deslizamento entre o vidro e a lataria do carro e acabamento visual no local.

Figura 2 – Tipos de vedações para automóveis



Fonte: Empresa de estudo

São inúmeros os tipos de vedações automotivas existente, estes materiais têm como função primária vedar os veículos contra água, ruídos ou poeira e possui suas geometrias definidas conforme a estrutura da carroceria do veículo. A geometria é definida durante o processo de extrusão pela matriz e é um fator de extrema importância para garantir a contabilidade e funcionabilidade do veículo, sendo que a geometria do perfil estiver fora do especificado, impossibilita a montagem da peça na carroceria.

### **3.1 Material das vedações para automóveis**

O material comumente utilizado na indústria no processo de fabricação de extrusão vedações para automóveis é a borracha de etileno propileno dieno (EPDM).

Segundo a norma DIN 53501 as borrachas (matéria-prima) são polímeros não reticulados, mas reticuláveis (vulcanizáveis) e que são “rubber-elastic” à temperatura ambiente e, dentro de certos limites, em gamas adjacentes de temperatura. A temperaturas elevadas e/ou sob a influência de forças de deformação, a borracha, matéria-prima, mostra, de modo crescente, um fluxo viscoso que a torna capaz, sob condições adequadas, de sofrer processos de modelação. (GOMES, 2014, p. 1).

Segundo Gomes (2014, p. 1) “a borracha de etileno propileno dieno (EPDM), uma das borrachas bastante utilizadas hodiernamente, concernente ao grupo genérico das borrachas de etileno propileno.”

### **3.2 Borracha sintética**

A borracha sintética é feita utilizando compostos químicos de baixo peso molecular. O termo, contudo, também engloba as borrachas que não são geradas de forma direta dos compostos de baixo peso molecular, situação esta do polietileno cloro sulfonado, que vem de intermediários de alto peso molecular que não são considerados como borracha (GENT, 2012).

Considerando o desenvolvimento de compostos de borracha e suas fórmulas a serem utilizadas, quaisquer fórmulas contém um número de componentes, sendo estes com a sua função específica, seja no processamento, vulcanização ou no produto final. A ideia da formulação é permitir que o composto seja seguro para o meio ambiente, tenha um fácil processamento, custo adequado no mercado, vida útil aplicável, propriedades dinâmicas,

químicas e físico-químicas adequadas para o processo para a validação do produto final (MORTON, 1999).

### **3.3 Polímeros**

Os descritos polímeros “são cadeias longas com unidades repetitivas de estrutura idêntica em vários tamanhos de cadeias.” (FRIED, 1995 apud CHECCHINATO, 2007, p. 12).

A palavra “polímero” vem do grego, significando “muitas partes”. Polímero é uma substância constituída de moléculas caracterizadas pela repetição de uma ou mais espécies de átomos ou grupos de átomos (unidades constitucionais) ligados uns aos outros em quantidade suficiente para fornecer um conjunto de propriedades que não variam acentuadamente com a adição ou a remoção de uma ou algumas unidades constitucionais de suas moléculas (ANDRADE et al, 2001 apud CHECCHINATO, 2007, p. 12).

Cabe ressaltar que independente do material utilizado, este deve ser compatível com o produto a ser vedado para que não ocorra reação química entre estes, gerando a perda da funcionabilidade a qual a vedação é qualificada, no estudo apresentado é possível ver que caso ocorresse alguma variação no processo de produção o material iria gerar variações no corpo do produto gerando variação no corpo do perfil e esta ideia influenciaria no aspecto visual e possivelmente em sua designação de vedação podendo ocorrer a transposição de elementos para o interior do veículo.

## **4 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO**

Fabricar é a faculdade de transformar matérias primas em produtos, por uma pluralidade de processos. Meio a este caso o produto é oriundo de um processo de extrusão a quente, vulcanização e uma série de tratamentos superficiais

### **4.1 Processo de extrusão**

O processo de extrusão de borracha EPDM é realizado de forma mecânica e contínua, que força o material a fluir, por compressão, através de um orifício em uma matriz, sendo assim gera as formas dos perfis utilizados como vedação automobilística. A alocação de material na

extrusora é realizada por funis de alimentação por onde a massa de EPDM chegará até uma rosca por gravidade e a transportará dentro de um cilindro aquecido por resistências elétricas e uma parte deste calor será promovido pelo próprio atrito do material com as paredes do cilindro, entrando nas cavidades da matriz por meio de compressão. (CHIAVERINI, 1986).

A extrusão ocorrida na empresa ocorre mediante os equipamentos posicionados em uma linha de produção, a primeira etapa se trata da transformação do composto em perfil conforme a geometria especificada, esse processo ocorre desde as extrusoras, passando pelos fornos onde será analisado o processo de vulcanização e tanques de resfriamento. Em seguida, o perfil passa por tratamentos superficiais. Abaixo é descrito cada etapa do processo de acordo com seus equipamentos:

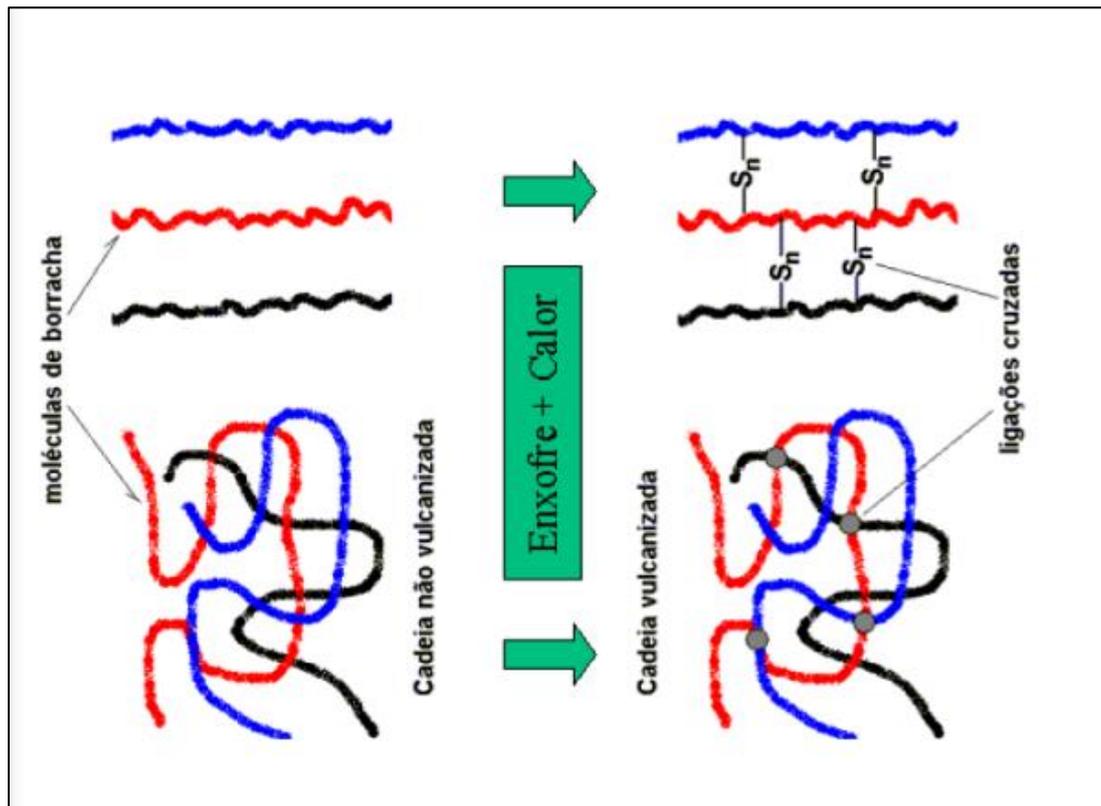
- a) Fita Metálica - Componente que traz a sustentação do produto entre a lataria do carro, processo é realizado através de um desbobinador de fita.
- b) Pré-former – Equipamento que faz a conformação da fita conforme a geometria necessária do produto, processo conhecido como laminação a frio.
- c) Extrusão do Perfil - Processo de extrusão que realiza o cisalhamento e homogeneização da borracha, após estes processos a borracha passa por uma matriz que define a geometria ideal para o perfil.
- d) Forno de Vulcanização (Micro-ondas) – É o processo que realiza a vulcanização da borracha, onde que uma vez vulcanizado dificilmente ocorrem variações geometria no produto extrudado, o uso do forno do tipo micro-ondas é usado devido acelerar a vulcanização devido as micro-ondas vulcanizar de dentro para fora da borracha. 15
- e) Banheira 1 – Equipamento em forma de um tanque retangular de água que consiste em esfriar o perfil da borracha extrudada, finalizando a vulcanização e evitar a deformação na borracha para os próximos processos.
- f) Tracionador 1 - Equipamento de realiza o tracionamento contínuo da borracha, em outras palavras puxa a borracha de forma contínua dentro dos fornos e tanques de resfriamento.
- g) Cabine de Corona - Após o perfil vulcanizado e o momento de receber adesivos funcionais ou para dar acabamento no produto, para receber esses adesivos o perfil de borracha recebe um choque de plasma na sua superfície.
- h) Cabine de Coating - Após o tratamento com corona a borracha recebe uma pintura em suas áreas de acabamento, esta pintura tem a função das maiorias das vezes reduzir o atrito da lataria com a borracha, deslizar o vidro pela borracha e até mesmo do acabamento na borracha.

- i) Forno infra red - Equipamento que realiza a cura da pintura, ou seja, faz a secagem da pintura, Nome infra red devido utilizar de energia elétrica para aquecer lâmpadas que realizam o aquecimento do interior dos fornos.
- j) Banheira 2 - Equipamento em forma de um tanque retangular de água que consiste em esfriar o perfil quente que sai do forno infravermelho e não gerar deformações nos próximos processos.

## 4.2 Processo e vulcanização

A vulcanização, denominada tempo de cura, é uma forma de reticular a estrutura química da borracha, esta é modificada pela interligação de cadeias longas dos polímeros, flexíveis mutuamente, estes geram uma rede tridimensional que ficam ligadas entre si. A vulcanização modifica um emaranhado viscoso de moléculas de cadeia longa sendo em rede tridimensional, e junta quimicamente as moléculas em vários pontos da cadeia (VIEIRA, 2013).

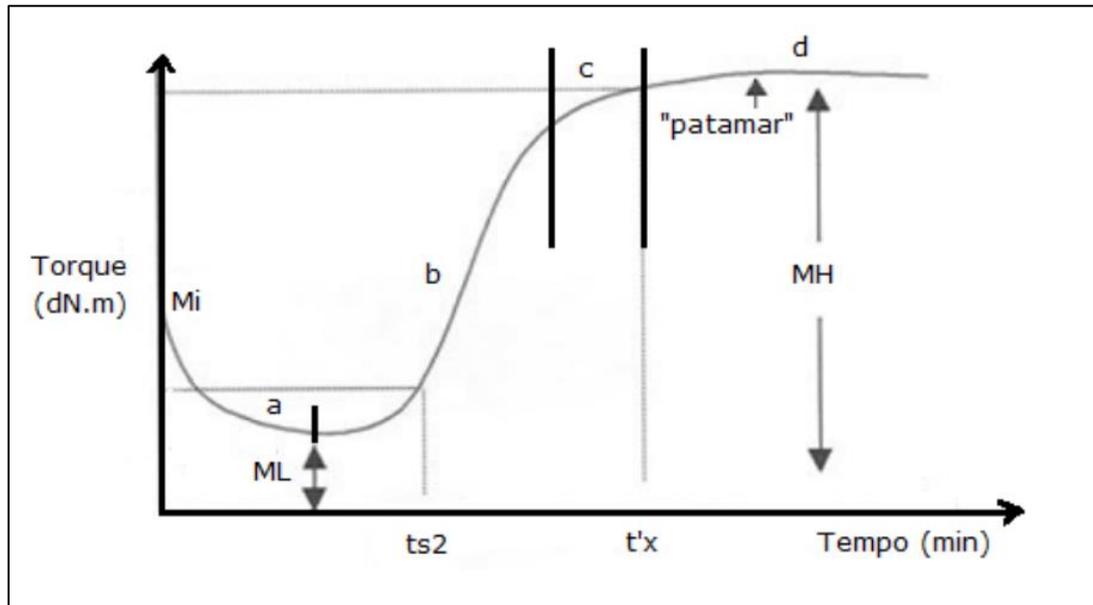
Figura 3 – Esquema de formação de rede elastômera com enxofre



Fonte: (VIEIRA, 2013)

A evolutiva da vulcanização é analisada por meio da curva reométrica, como pode ser observado na imagem 2, esta é gerada através da análise do reômetro de disco oscilante, e esta também pode ser dividida em intervalos de tempo de reticulação.

Figura 4 – Curva reométrica ilustrativa da borracha



Fonte: VIEIRA, 2013

Por meio da curva reométrica obtém-se os parâmetros de cura, os valores úteis nas formulações da borracha, ou seja, caso for preciso alguma alteração de característica no material o mesmo pode ser especificado. Verificando o processo produtivo em diferentes fases. Os intervalos da descrita curva reométrica descrevem os estágios do processo de vulcanização, sendo:

Intervalo inicial: Tempo em que não existe reação de vulcanização, onde a borracha comporta-se como um termoplástico e tem características como, redução de viscosidade por conta do aquecimento

Fase de pré-cura: tem seu início no processo de reticulação com a modificação da forma física da borracha e esta faz com que se torne elástica. Em meio a esta fase as propriedades se tornam proeminentes e tem um aumento significativo

Fase de cura ótima: em meio a esta fase é atingido o ponto máximo de reticulação, visto que nem todas as propriedades do material vulcanizado chega em seu ponto ótimo, neste ponto é preciso determinar o ponto ótimo, entre a fase de cura considerada ótima e a sobrecura.

Fase de sobrecura: A fase de sobrecura acontece quando o tempo de aquecimento é interrompido além do tempo ótimo de cura. Para os elastômeros sintéticos pode ser observado

estabilização de torque ou aumento simples com o tempo, a qual se denomina reversão, fenômeno característico da borracha, sendo assim o material tem suas propriedades mecânicas reduzidas devido à redução de reticulações (VIEIRA, 2013).

## **5 TRATAMENTO DE VULCANIZAÇÃO NAS VEDAÇÕES DE AUTOMOVEIS**

O processo de mistura de compostos de borracha é de suma importância na forma em que é fabricado os artigos de borracha e imperioso para encontrar as características desejadas do produto final, os compostos utilizados na linha são dispostos pelo mixing da empresa, criteriosamente testados em laboratório onde, estes contêm etiquetas com os parâmetros de análise necessários para verificação da equipe de engenharia de processo quando for lançar o produto e precisa definir os parâmetros a serem utilizados na linha de produção:

Mv – Viscosidade (+ Dura; - Dura)

T5 – Tempo de queima (tempo máximo que a borracha pode ficar dentro da extrusora)

T52- Tempo de início da vulcanização (Forno)

T90 – Tempo mínimo e máximo que a borracha tem que permanecer dentro do forno.

Densidade-  $D=m/v$  (densidade manda nos testes de compressão, inserção e extração)

Cabe ressaltar que a atribuição destas variáveis no corpo deste trabalho serve para entendimento do estudo a ser realizado nas próximas seções.

Para que o estudo fosse validado foram coletadas informações de parâmetros de T90 em horários distintos, duas destas coletas foram feitas em situação em que houve variação no produto, sendo a existência de material pré vulcanizado em meio a matéria, como pode ser observada na figura 3.

Figura 5 – Presença de material pré vulcanizado no perfil.



Fonte: Autora, 2022

Figura 6 – Presença de material pré vulcanizado no perfil 2.



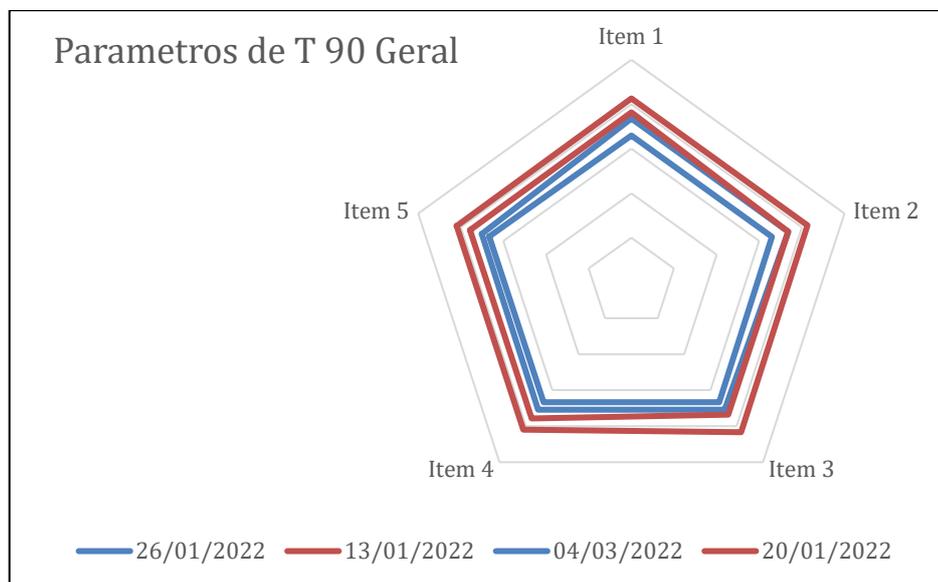
Fonte: Autora, 2022

Tabela 1- Parâmetros de comparativo T90 com quatro conjuntos de cinco amostras

Não houve variação		Houve variação	
Parâmetros de T90 dia 26/01/2022		Parâmetros de T90 dia 13/01/2022	
Hora	Especificação	Hora	Especificação
00:40	01:46	11:10	01:50
02:40	01:46	13:10	01:46
04:40	01:42	15:10	01:46
06:40	01:42	17:10	01:49
08:40	01:41	19:10	01:49
Não houve variação		Houve variação	
Parâmetros de T90 dia 04/03/2022		Parâmetros de T90 dia 20/01/2022	
Hora	Especificação	Hora	Especificação
06:30	01:35	13:00	01:59
08:30	01:35	15:00	01:59
10:30	01:36	17:00	02:00
12:30	01:36	19:00	01:58
14:30	01:36	21:00	01:58

Fonte: Autora

Figura 7 – Gráfico de parâmetros comparativos de T90.



Fonte: Autora

Serão analisados os itens com relação do T90, possíveis variações nesse processo podem gerar perdas das propriedades e desvios das características ideais dos perfis de produção, sendo que a análise será de itens com possibilidade de pré-vulcanização durante a passagem pelos fornos.

Visto a importância dos procedimentos de testes e instrumentação de medição das propriedades dos compostos, processabilidade e vulcanização. Essas utilizações são fundamentais devido ao fato de que estas definem o tipo de operação para os compostos não vulcanizados em um produto utilizável. Sendo assim, para encontrar essas características, são utilizados os Testes de Tração e Reometria (CIULLO e HEWITT, 1999).

Tabela 2- Parâmetros comparativos de teste de laboratório com conjuntos de 5 amostras

Houve variação		Não houve variação	
Testes de laboratório 26/01/2022		Testes de laboratório 13/01/2022	
Hora	Especificação	Hora	Especificação
00:40	Aprovado	11:10	Aprovado
02:40	Aprovado	13:10	Aprovado
04:40	Aprovado	15:10	Aprovado
06:40	Aprovado	17:10	Aprovado
08:40	Aprovado	19:10	Aprovado
Houve variação		Não houve variação	
Testes de laboratório 04/03/2022		Testes de laboratório 20/01/2022	
Hora	Especificação	Hora	Especificação
06:30	Aprovado	13:00	Aprovado
08:30	Aprovado	15:00	Aprovado
10:30	Aprovado	17:00	Aprovado
12:30	Aprovado	19:00	Aprovado
14:30	Aprovado	21:00	Aprovado

Fonte: Autora

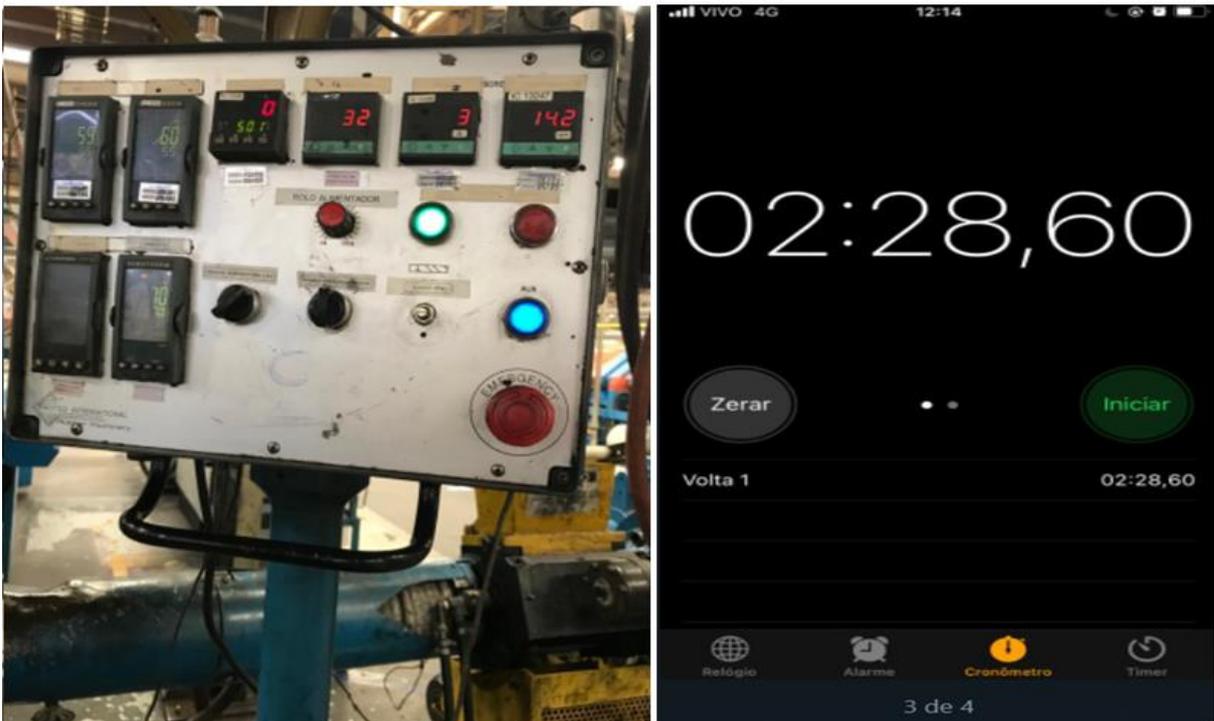
## 6 MÉTODO

Devido a existência de inúmeras variáveis no processo, cabe um dedicado estudo para identificar as causas raízes que interferem no produto final de alguma forma, sendo assim é importante a realização de um controle de qualidade rigoroso, envolvendo testes na massa intermediária (testes estes disponibilizados na etiqueta dos compostos) e nos compostos vulcanizados (testes realizados durante a produção, na hora do lançamento e depois a cada 2 horas), para que se possa monitorar o comportamento do produto final e alcançar dados suficientes para garantir o desempenho ideal desses materiais durante os lançamentos de linha equiparando a padronização de parâmetros de processo.

## 6.1 Tempo de passagem do composto nas extrusoras

O estudo realizado para análise do tempo de permanência do composto dentro da extrusora considerando os parâmetros pré-definidos da ficha, evidencia que o resultado de 2,28 está dentro do estipulado que segue de 2 a 4.

Imagem 8 - Conferência do tempo de permanência de massa na extrusora T5 (Range de 2 a 4)

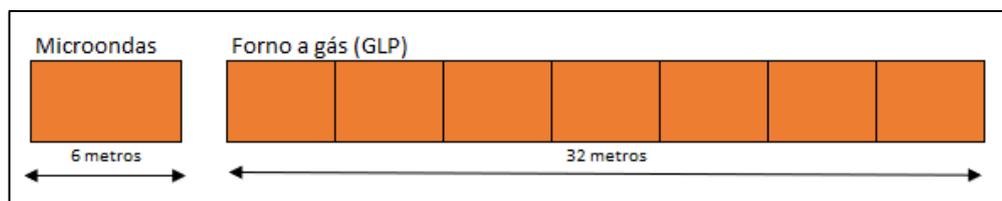


Fonte: Autora

## 6.2 Tempo de passagem do perfil dentro dos fornos

Considerando um forno micro-ondas de 6 metros e um forno a gás de 32 metros, uma linha de produção a 18 metros por minuto.

Figura 9 - Ilustrativo do forno



Fonte: Autora

Tempo no micro-ondas – 0,33 minutos

Tempo no forno a gás – 1, 77 minutos

As temperaturas utilizadas em todo o processo fora:

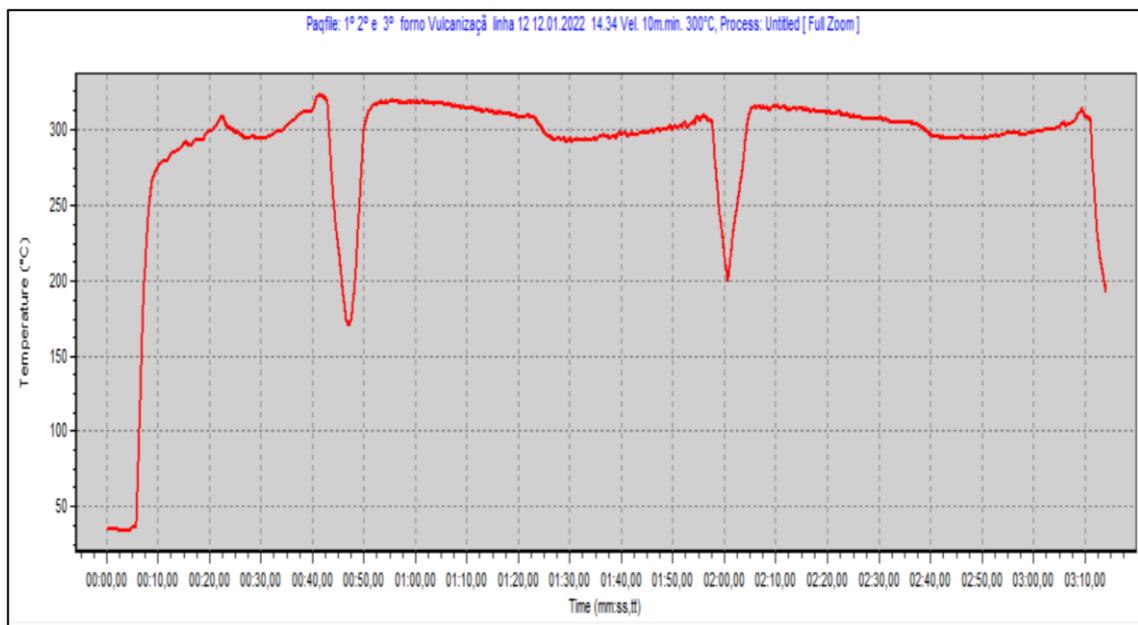
Temperatura no micro-ondas – 300 C°

Temperatura no forno a gás – 250 C° (nos 2 queimadores de cada um dos dois fornos)

Somando o tempo, obtém-se o resultado de 2 minutos, considerando que o range de tempo disponibilizado em ficha é de 1 a 2 está correto.

Para certificação da funcionalidade dos fornos de vulcanização foi passado o sistema de DataPaq de perfil de temperatura, para registrar os dados, e termopares dos fornos, antes da produção, com uma temperatura de teste, como pode ser observado na figura 3, no mesmo, é possível perceber algumas variações no gráfico, onde o material passa de um forno para o outro.

Figura 10 - DataPaq dos fornos de vulcanização



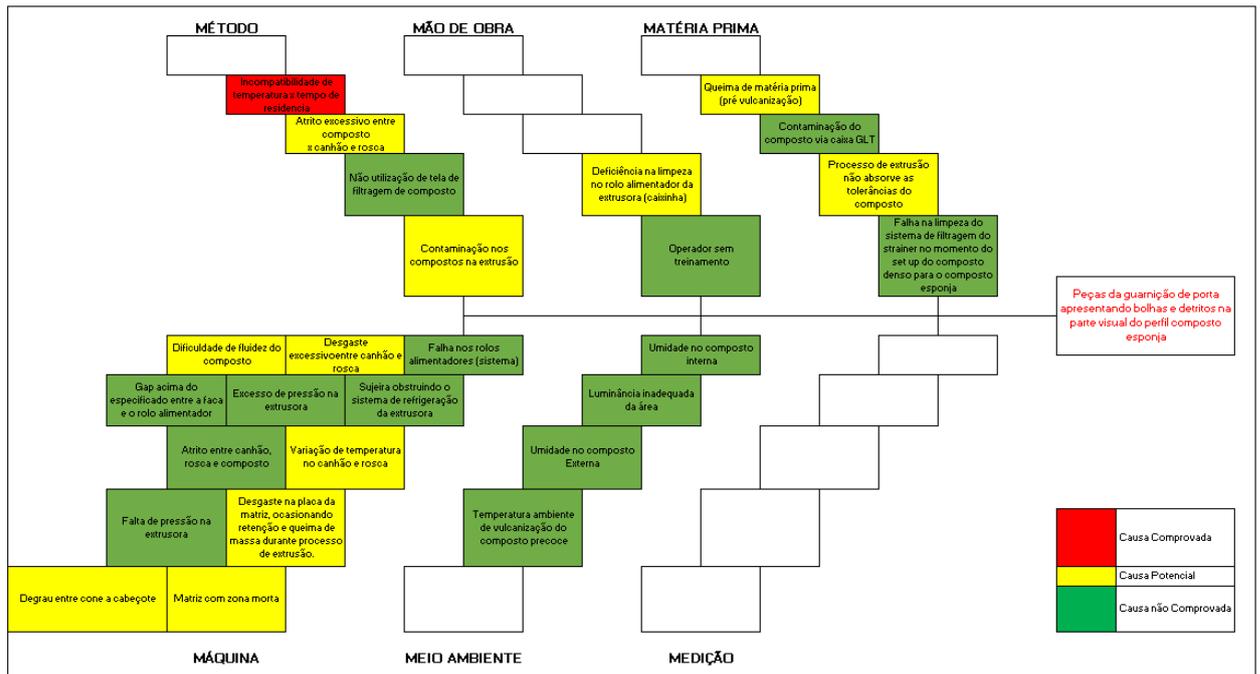
Fonte: Autora

## 7 RESULTADOS

Visto a análise realizada e os tempos dispostos do perfil, cabe validar que a velocidade da linha atende os parâmetros, junto a parte mecânica e elétrica do forno, que por análise gráfica é possível perceber que está em excelente condição, com poucas variações.

Depois da coleta de dados foi realizado uma reunião com o time para acampamento dos dados e elaboração de um Ishikawa Diagrama, também nomeado como Diagrama de Causa e Efeito ou Diagrama Espinha de peixe, é um gráfico cuja função é organizar o raciocínio onde foram apontadas as possíveis causas para ocorrência do problema, como pode ser notado na figura 7.

Figura 7- Ishikawa diagrama



Fonte: Autora

Como pode ser observado na imagem a causa raiz potencial que está em vermelho foi a causa raiz encontrada e comprovada pelo time de elaboração de trabalho sendo assim as tomadas de decisões para que o problema fosse contido e resolvido deveriam ser em cima da mesma.

Utilizando o método dos 5 porquês para se chegar à verdadeira causa raiz do problema, que geralmente está escondida através de sintomas, é por se dizer uma ferramenta simples desenvolvida por Taiichi Ono, para o sistema de produção Toyota que consiste em realizar a pergunta "Por quê" cinco vezes para encontrar a causa-raiz). Csabe ressaltar que mais ou menos de 5 perguntas podem ser feitas, o número 5 é apenas uma observação da ferramenta pois costuma ser satisfatório para se chegar a causa raiz. s (Ohno, 1997).

Tabela 3: Definição dos 5 porquês.

<b>Por que o problema ocorreu?</b>
peças da guarnição de porta apresentando bolhas e detritos na parte visual do perfil
Porque ocorreu a massa queimada no bulbo do perfil
Porque esta havendo super aquecimento do composto na extrusora C e na passagem do perfil para os fornos
Porque foi apresentado incompatibilidade entre temperatura aplicada a extrusora x tempo de residência do composto na extrusora e para a passagem para os fornos
<b>Porque não foi contemplado e testado durante a definição do processo no período de desenvolvimento do produto</b>
<b>Causa Raiz para Ocorrência:</b>
<b>Porque não foi contemplado e testado durante a definição do processo no período de desenvolvimento do produto</b>

Fonte: Autora

### 7.1 proposta sob range de T90

Sobre o range de T90 cabe ressaltar que ao analisar o gráfico da imagem 3 verifica-se a linha vermelha como foco, é então possível concluir que se ele for mais próximo do mínimo a possibilidade da aparição de variação é menor, sendo assim seria proposta a ideia para evitar a ocorrência de vulcanização precoce no processo. Realizando um cálculo de média simples para diminuição do range que atualmente é de um até dois, como pode ser observado na tabela 3 e descritivos abaixo.

Tabela 4 - Conversão em segundos parâmetros de T90

Conversão em segundos (sem variação)	Conversão em segundos (com variação)
87,6	90
87,6	87,6
85,2	87,6
85,2	89,4
84,6	89,4
81	95,4
81	95,4
81,6	120
81,6	94,8
81,6	94,8

Fonte: Autora

Médias definidas para 83,7, na conversão de itens sem variação e 94,44 para os itens com variação, ao voltar para minutos, obtém-se os números de 1, 395 e 1, 574 respectivamente, calculando a variação de 0,179 para o item. A ação para melhoria do processo seria adequar o range para que o material a ser utilizado em linha esteja mais próximo dos parâmetros recém definidos por análise, ou seja reduzir a margem de 1 a 2 para 1 a 1,8.

Visto que a margem de redução seria pequena e realizar uma modificação em um composto de produção que também é utilizado em outros produtos por padrão e formulação definida não seria a melhor decisão a ser tomada pelo time, além de que não foi uma causa totalmente comprovada visto que algumas massas também chegavam neste valor em linha de produção.

## 7.2 Propostas de diminuição de temperatura das extrusoras

Depois de uma análise detalhada de dados da linha de produção e acompanhamento dos dados coletados de valores alocados nas extrusoras da linha de produção foi realizado um teste na mesma, para avaliar a possível existência de vulcanização precoce que poderia estar ocorrendo antes mesmo que o perfil chegasse ao forno. Foi coletada uma amostragem de valores da temperatura utilizada em linha de produção como pode ser observado na tabela 4 a seguir.

Tabela 5 - Coleta de valores alocados na extrusora durante o processo de fabricação.

Hora	Temperatura Invólucro	Temperatura da rosca	Temperatura do cabeçote
08:40	60	60	60
10:40	60	60	60
12:40	60	60	60
09:50	60	60	60
11:30	60	60	60
13:30	60	60	60
15:30	60	60	60
17:30	60	60	60
19:30	60	60	60
10:20	60	50	60
12:20	60	55	60
14:20	60	55	60
16:20	60	55	60
18:20	60	55	60

20:20	60	55	60
22:20	60	55	60
00:20	60	55	60
02:20	60	55	60
04:20	60	55	60
11:30	60	60	60
13:30	60	60	60
15:30	60	60	60

Fonte: Autora

Visto que a temperatura estava a 60 C° no involucro da extrusora, ou seja, na parte principal que rege a temperatura pela qual a massa sofre influência foi proposta a ideia de diminuição em 25 % da temperatura utilizada e realização de teste durante um tryout de produção, para 45C°. Durante todo o acompanhamento em linha e inspeção extra por dois operadores em bancada de produção na linha em durante um período 24 horas não foram encontrados detritos na peça. Com o material de coleta que pode ser observado na figura 8. Neste caso deve ser notado que uma temperatura de vulcanização mais baixa, deve ser utilizada para evitar o risco de pré-vulcanizar as zonas visuais do perfil que ficam aparentes. Na determinação dos tempos de vulcanização é fundamental o conhecimento das curvas de vulcanização obtidas em reómetro, o que é realizado no mixing que envia os compostos para o setor de extrusão. Para o efeito é preciso conhecer qual é a curva de vulcanização adequada, cabe deixar claro neste trabalho que o material utilizado nas massas atende não somente um produto e que ocorre variação no processo de produção e no maquinário além de citar o design do perfil que se faz diferente para cada, ou seja a melhor ação a ser tomada é a adequação do processo de produção. O conhecimento do tipo de curva de vulcanização influencia diretamente no produto, como também a definição da temperatura de vulcanização no equipamento de produção. Cabe deixar claro que existem parâmetros que também podem influenciar no processo como pressão e amperagem da rosca, além de outras temperaturas com menor influência como o caso da temperatura da rosca e do cabeçote, mas em especial neste trabalho fora determinada apenas variáveis de temperatura para dar foto a teoria e causa raiz comprovada neste artigo.

Para estudo posteriores cabe ressaltar uma análise comparativa entre a variável T5 e o T90, visto que neste trabalho foi possível expor que se o composto chegar no forno com uma temperatura mais elevada que o previsto, pelo T90, devido ao fato do mesmo ter sido aquecido de uma forma superior ao esperado o mesmo sofrera uma vulcanização precoce gerando problemas descritos neste trabalho.

Figura 12 - Material de controle e inspeção de perfil em linha

Inspeção de perfil 3149	
Data:	<i>Obs., segregar as peças com detrito para que sejam analisadas</i>
Hora de início	<i>Avaliação para item 7 fast response, validação de ações</i>
Perfil 3149	
Inspeção a cada 4 pec	
	Marcar um X se a peça tiver detrito
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	

Fonte: Autora

Sendo assim foi alocada a informação na ficha de controle de produção que o operador poderia trabalhar apenas dentro de um range de 40 a 50 C° induzindo o mesmo a utilizar a temperatura de 45C°. Como esta ação atendeu perfeitamente a produção deste material dedicado e não iria influenciar no composto que é utilizado na linha de produção, além de que foi observado que uma causa raiz em potencial que estaria causando a queima precoce do material em meio a superfície do perfil a melhor ação a ser tomada seria a diminuição da temperatura no processo de produção na extrusora específica que utiliza este composto de produção.

Em primeira instância o T90 utilizado na fábrica, para algumas dessas peças, com material e geometria parecidos, em peças com zonas mais espessas, é utilizado um tempo de vulcanização superior em 20 – 25% ao valor de T90 onde é verificado em tempo real cortando a peça e analisando sua geometria e porosidade, além de sinais de reversão, este método, de tentativa e erro é perfeitamente utilizado. Como um caso parecido para a finalização deste

estudo, onde serão avaliados mais situações e acompanhamento da temperatura utilizada nas extrusoras.

A utilização de simuladores de vulcanização é um método mais científico, mas implica custos mais elevados e disponibilidade de equipamentos, como a utilização de hardware e software específicos. É um método utilizado, citando um caso parecido, no estudo da vulcanização de pneus, cabe avaliar para próximos estudos a utilização de sistemas como estes.

Até a presente data, utilizando de um controle mais rigoroso do recebimento de matéria prima, manutenção correta e preventiva de maquinário, controle de especificação de parâmetros, e análise de testes, houve uma significativa diminuição da incidência da aparição de variações no produto, ou seja, é passível de análise que não apenas um parâmetro influencia no processo todo, cabe analisar e controlar todo o sistema. O objetivo geral deste estudo foi percorrer o processo de vulcanização da borracha, com foco na inquirição de T90, para identificar causas-raízes das falhas e variações para que se pudesse pretender melhorias, a fim de se garantir a estabilidade do processo e a redução da taxa de refugo de peças obtendo-se compostos de borracha vulcanizados dentro dos limites de controle, ou seja, dentro dos parâmetros especificados nos testes, sendo físicos e visuais.

## **8 CONCLUSÃO**

O estudo apresentado teve importância na resolução de uma variação no processo de produção ocorrido em uma montadora de automóveis, adjunto aos resultados de análise obtidos e comparações de parâmetros analisados, cabe verificar que um processo de arguição como o mesmo pode ser utilizado como comparativo de forma a reduzir variações no processo de produção, evitando cada vez mais erros, além de diminuir falhas de processo analisado. Um dos fatores mais importantes analisados para o processo de vulcanização da borracha foi a análise das temperaturas utilizadas na atuação da produção, ou seja, a variável escolhida para que o trabalho obtivesse um enfoque e que todos os parâmetros atendessem o esperado quanto suas especificações, em linhas gerais serviu para que através de uma diferente perspectiva relacionando causas potenciais a melhor ação para eliminação do problema fosse tomada.

A elaboração de um Diagrama Ishikawa e planilhas com todos os levantamentos aqui apontados e fundamentados de forma teórica serve como parâmetro para evitar reincidências deste problema, minimização de sua ocorrência e impactos para o processo produtivo, o ângulo principal deste trabalho foi alcançado devido a entendimento do processo produtivo das vedações entendendo o comportamento do material em meio ao processo de extrusão e

vulcanização em conjunto a análise das temperaturas, assim o presente estudo é finalizado com seus objetivos principais alcançados, as simulações realizadas no processo propiciaram uma melhor compreensão da funcionabilidade das ações.

Sendo assim é possível verificar que no decorrer do estudo as medidas implantadas foram eficientes, corroborando com o processo, para que este produza peças de qualidade, dentro das especificações impostas, evitando-se, assim, grandes perdas de matérias-primas, de investimentos e capital da empresa, reduzindo-se a quantidade de perfis e matéria prima refugados, além da verificação de ferramentas de análise de engenharia utilizadas para o decorrer deste estudo, o que propiciou um exercício eficiente para sua solução. Com a afirmação de um ensejo de pesquisas e trabalhos a serem realizados no setor automobilístico.

## REFERÊNCIAS

BECKER, A. **Uma pequena história da borracha sintética.** DW, Alemanha, 29 dez. 2009. Disponível em: <<https://www.dw.com/pt-br/uma-pequena-hist%C3%B3ria-da-borracha-sint%C3%A9tica/a-5069207#:~:text=Al%C3%A9m%20de%20bolas%20flex%C3%ADveis%20para%20v%C3%A1rios%20tipos%20de%20jogos.&text=Os%20primeiros%20relatos%20europeus%20sobre,para%20esse%20material%20sui%20generis.>>>. Acesso em: 28 março 2022.

5069207#:~:text=Al%C3%A9m%20de%20bolas%20flex%C3%ADveis%20para%20v%C3%A1rios%20tipos%20de%20jogos.&text=Os%20primeiros%20relatos%20europeus%20sobre,para%20esse%20material%20sui%20generis.>. Acesso em: 28 março 2022.

CIULLO, P. A.; HEWITT, N. **The rubber formulary.** Nova York: Noyes Publications/William Andrew Publishing, LLC, 1999.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica.** 2 ed, São Paulo: McGraw-Hill, 1986

GENT, A. N. Engineering with Rubber: **How to Design Rubber Components.** 3a Edição. ed. Cincinnati: Hanser Publications, 2012.

GOMES, Manuel Morato. **Portal da indústria da borracha.** Disponível em: <<http://www.rubberpedia.com/borrachas/borrachas.php>>. Acesso em: 05 maio 2022.

MORTON, M. **Rubber technology.** Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1999.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção além da produção em larga escala.** Porto Alegre: Bookman, 1997.

SLACK, Nigel. **Vantagem competitiva em manufatura: atingindo competitividade nas operações industriais** / Nigel Slack; tradução Sônia Maria Corrêa; revisão técnica Henrique Luiz Corrêa. – 2ª ed. – São Paulo; Atlas, 2002.

SENAI. **Elementos de Vedação.** São Jose dos Campos, 2010

VIEIRA, E. Rodrigues. **Reuticulação peroxídica de compostos elastômeros utilizados na indústria de pneus,** Tese para obtenção do título de Doutor em engenharia, Porto Alegre. 2013.