
EFEITO DO SISTEMA DE RETICULAÇÃO EM UMA BORRACHA NITRÍLICA SUBMETIDA A OXIDAÇÃO TÉRMICA.

BUCCI, Ana Luisa de Sousa ¹
BORBA, Jéssica Beatriz ²
ANDREAZZA, Dr^a Janaína Karine ³

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar os efeitos de reticulação de uma borracha NBR (nitrílica), utilizando diferentes agentes de reticulação que possuem propriedades diferentes, sendo utilizado o processo de cura com doadores de enxofre, o peróxido de dicumila e enxofre com acelerador. As amostras foram submetidas ao envelhecimento para verificação das propriedades mecânicas, onde os testes desenvolvidos para chegar em determinadas conclusões são de deformação permanente por compressão (DPC), tração/alongamento e dureza Shore A. Foi analisado durante os testes que o peróxido tem propriedades mecânicas melhores quando passa por oxidação térmica.

1 INTRODUÇÃO

Por volta de 1500 até onde se sabe, o ser humano já tinha contato com a borracha, mas apenas dois séculos depois foram formalizadas a ideia da utilização para apagar lápis no papel e começou sua comercialização que seguimos desde então. Após anos de desenvolvimento e estudos, foram aprimorados e ampliados o número de aplicações da borracha e iniciando assim sua vinda para o ramo industrial.

A borracha é um polímero natural, formado por monômeros de isopreno, sua característica física é de forma líquida e leitosa chamada de látex, obtido através da árvore de seringueira onde cada árvore produz em média 30 gramas de látex por

¹Ana Luisa de Sousa do Curso de Engenharia Química do Centro Universitário UNISOCIESC, analuisabucci@gmail.com ²Jéssica Beatriz de Borba do Curso de Engenharia Química do Centro Universitário UNISOCIESC, jessica.beatriz1998@gmail.com; ³Janaína Karine Andreazza: Dr^a, Centro Universitário UNISOCIESC, janaina.andreazza@prof.unisociesc.com.br.

dia. Quando coletado, recebe uma adição de amônia para manter-se conservado por mais tempo.

Por mais que a utilização da borracha estivesse no seu auge, ainda não era muito resistente a diferentes temperaturas, no frio ela ficava quebradiça e no calor ficava mole e gosmenta, então para melhorar a qualidade e ampliar sua utilização, a borracha precisa passar por um processo de vulcanização, onde é feita adição de enxofre ou peróxido. Com o aquecimento, os átomos se rompem quebrando as ligações duplas e formam ligações que se unem com as moléculas da borracha (poli-isoprenos). Através desse processo temos uma borracha com maior resistência a variação de temperaturas, o atrito constante e elevado, boas propriedades dinâmicas, são resistentes a óleos e possuem maior elasticidade.

A proposta desse trabalho é verificar o melhor processo de vulcanização das borrachas sintéticas, sendo utilizado na cura o enxofre e peróxido, a importância disso é verificar qual será mais resistente quando submetido ao envelhecimento para que então a borracha possa ser utilizada no ramo automotivo e juntas.

Foi utilizado a borracha sintética nitrílica (NBR) pois tem grande utilização nas confecções de peças técnicas, podendo ser usada tanto com o enxofre quanto com o peróxido.

Os testes para verificar qual processo seria mais eficaz foram feitos na empresa MICROJUNTAS e o trabalho escrito foi desenvolvido por meio de pesquisas juntamente com os professores responsáveis da UNISOCIESC.

Portanto, esse trabalho tem como objetivo geral analisar as propriedades mecânicas da borracha nitrílica (NBR) no processo de vulcanização curada com enxofre, doadores de enxofre e peróxido. Para avaliar as propriedades mecânicas são utilizados os testes de dureza, DPC, e tração/alongamento antes e após ao envelhecimento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

No presente capítulo, serão abordados tópicos relevantes à fundamentação da pesquisa em questão, trazendo embasamento acerca do processo de vulcanização e o comportamento da borracha nitrílica com adição de enxofre e peróxido.

2.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA BORRACHA

A vulcanização acontece em um processo de reticulação onde as moléculas individuais nas borrachas são convertidas em uma rede tridimensional de cadeias interconectadas através de ligações cruzadas, esse processo é muito antigo que se dá a partir de uma prensa onde a borracha passa a uma alta temperatura, curado com enxofre ou peróxido e se transforma em borracha vulcanizada, tendo então uma maior resistência a mudanças de temperaturas, diferente da borracha natural. Após a vulcanização a borracha não consegue ser reciclada, sendo assim as rebarbas são utilizadas para outros processos para que possa ser reaproveitado.

No processo de vulcanização são utilizados aceleradores, sendo definido como o produto químico adicionado a um composto de borracha para aumentar a velocidade de vulcanização e permitir que a vulcanização prossiga a temperaturas mais baixas e com maior eficiência. Os aceleradores também ajudam a diminuir a quantidade de enxofre utilizada para melhorar as propriedades durante o envelhecimento da borracha. A unidade de medida usada no processo de fabricação da borracha é phr (Per Hundred Rubber) que é 100 partes em peso de borracha (CAETANO - Mario ,2018).

A borracha sintética NBR, é uma borracha de copolímero de acrilonitrilo e de 1.3 butadieno, essa borracha em geral acaba sendo resistente principalmente a óleos e gasolina, por conta disso é muito encontrada em ramo automotivo, e alguns outros materiais como EPI's (sapatão). A borracha NBR pode ser utilizada tanto com enxofre como com peróxido pois é uma borracha insaturada.

2.2 PROCESSO DE CURA

Existe quatro agentes usados no processo de reticulação de uma borracha, o Convencional, semi-eficiente, eficiente e peróxido, neste trabalho não foi utilizado o semi-eficiente

O primeiro é o enxofre que seria o convencional o mais importante e mais usado agente de vulcanização para borracha. A reticulação por enxofre é chamada de vulcanização e foi descoberta em 1839 por Charles Goodyear, que utilizou enxofre para criar as ligações necessárias para formar os retículos na borracha

natural. Normalmente são usadas dosagens de 0,25 a 5,0 p.h.r. Para borrachas duras (ebonites) os valores são de 25,0 a 40,0 p.h.r. . A quantidade de enxofre usada depende da quantidade de acelerador usado bem como das propriedades que se quer do vulcanizado. Duas formas de enxofre estão disponíveis: Regular e Insolúvel. Regular é cristalino e rômico apresentando pelo menos 95% de pureza. Há uma grande tendência do enxofre migrar para superfície do composto cru devido a sua baixa solubilidade e dificuldade de dispersão. Isto chama-se de migração ou blooming. Só pode ocorrer nas borrachas insaturadas (dupla ligação na cadeia polimérica). Com o enxofre formam-se reticulações e estruturas cíclicas. Essas ligações ocorrem na sua maioria por abstração do hidrogênio ligado ao carbono vizinho à dupla ligação.

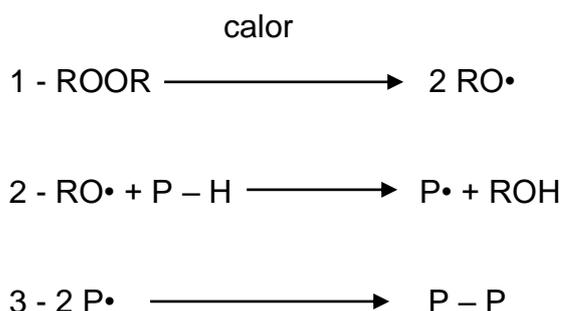
Outro processo seria a vulcanização com doadores de enxofre certas substâncias químicas (aceleradores da vulcanização) contendo enxofre, decompõem-se a determinadas temperaturas, liberando quantidades apreciáveis de enxofre. Quando são utilizados estes aceleradores, o enxofre elementar pode ser reduzido ao mínimo, ou mesmo eliminados, pois o enxofre liberado por estas substâncias promove a reticulação do elastômero. Embora o custo seja maior, há vantagens, em se utilizar este sistema, quando se quer melhorar a resistência ao envelhecimento, pois há formação preferencial de ligações monossulfídicas e dissulfídicas, que são mais estáveis termicamente do que as polisulfídicas. Os mais conhecidos são a ditiomorfolina que doa 13,6% de enxofre ativo (DTDM ou sulfazan R□) e o Dissulfeto de tetrametiltiurã (TMTD) que doa 13,3% de enxofre ativo. Nesta classe, o TMTD funciona como doador e como acelerador. A quantidade de doador necessária para substituir o enxofre elementar dependerá da relação enxofre/acelerador. Nos sistemas Eficiente (E.V.) e Semi-eficiente (Semi-E.V.) substitui-se parte ou todo o enxofre por doador e aumenta-se a quantidade de acelerador para obter-se maior quantidade de ligações mono e dissulfídicas no lugar das polisulfídicas. Com isto ganha-se principalmente em resistência térmica do material.

Outro processo de cura seria com peróxidos orgânicos que são usados para reticular borracha saturada ou insaturadas. Os peróxidos não entram na cadeia do polímero, mas produzem radicais, que formam ligações carbono-carbono com cadeias adjacentes do polímero (HOFMANN W. Rubber 1989). A vulcanização com

peróxidos praticamente só produz este tipo de ligações, C-C. Peróxido é comumente usados como agente de cura em alternativa ao enxofre. Embora ambos possam curar vários tipos de borrachas, sua química, tipo de ligação e propriedades são bem diferentes. Muitos produtos que melhoram a vulcanização com enxofre, podem interferir seriamente no peróxido. Ele é definido como composto químico que contém ligações oxigênio – oxigênio. Este é o único tipo de funcionalidade, pois estas ligações quebram em contato com o calor gerando radicais livres.

Mecanismo de crosslink do peroxido acontece em três etapas:

- 1- O peróxido sofre clivagem homolítica formando dois radicais alkoxi.
- 2- O radical alkoxi abstrai um átomo de hidrogênio da cadeia polimérica
- 3- Dois radicais da cadeias adjacentes ao polímero juntam-se para formar a ligação C – C .



O uso da vulcanização com peróxidos apresenta vantagens quando comparada com a vulcanização com enxofre, tem maior possibilidade de usar temperaturas mais elevadas e obtém melhores propriedades como maior resistência ao envelhecimento, melhor resistência no DPC .O uso de peróxidos tem como desvantagens que reduz a resistência à abrasão dos vulcanizados, a tensão de rotura e a resistência ao rasgamento dos vulcanizados em cerca de 15%, comparativamente ao valor obtido em vulcanização com enxofre (DATTA.R.N (Flexsys BV) – Rubber).

Um dos principais peroxido é o de dicumila ele é um peróxido orgânico da classe dialquil, comumente utilizado para a reticularão / cura de elastômeros e plastômeros. Quando utilizado no lugar do enxofre acaba tendo uma velocidade de

cura melhor e principalmente um baixo custo quando comparado a outros tipos de peróxidos orgânicos.

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa foi classificada como pesquisa aplicada, uma vez que o objetivo é investigar, comparar e determinar através de dados experimentais acerca da utilização de dois compostos diferentes no processo de vulcanização, para verificar qual proporciona um resultado significativo.

Neste trabalho para verificar a resistência de uma borracha NBR (nitrílica), utiliza-se três processos de cura diferentes, enxofre, peróxido dicumila, e doadores de enxofre.

3.1 MATERIAIS

Para a realização do procedimento experimental pertinente à pesquisa, foram utilizadas as seguintes quantidades de cada produto onde foi utilizado para cada 100phr de borracha nitrílica uma quantidade específica (Tabela1).

Tabela 1: Produtos e reagentes

Componentes	p.h.r
NBR 33% de acrilonitrila(ACN)	100
Negro de Fumo N-762	35
Negro de Fumo N-339	15
Antioxidante Fenol Estirenado	4
Óxido de Zinco (ZnO)	4
Plastificante T.O.T.M	16
Total	174

Fonte: As Autoras (2022).

Como podemos ver na (Tabela 1) foram utilizados alguns produtos e reagentes, foi utilizado 2 negro de fumo diferente para É capaz de oferecer melhor dispersão, processabilidade e desempenho para atender às necessidades específicas do mercado, também utilizamos o antioxidante fenol, pois ele é um produto que não mancha a borracha, como ativador foi utilizado oxido de zinco e

utilizamos plastificante T.O.T.M para trazer um melhor alongamento e flexibilidade na borracha.

Foi utilizado também o acelerador Dissulfeto de Tetrametil Tiuram (TMTD), Difenil Guanidina (DPG) , N-Ciclohexil-2 Benzotiazol Sulfenamida (CBS) e também 4,4 Ditiomorfolina (DTDM) . O sistema de cura ficou da seguinte forma, conforme a (tabela 2).

Tabela 2: Sistema de cura quantidade por borracha

	Peroxido	Enxofre	SISTEMA DE CURA			
			TMTD	DPG	CBS	DTDM
A -CONVENCIONAL	X	1,8	X	1	1,5	X
B - EFICIENTE	X	X	2,5	X	1,5	2
N – PERÓXIDO 40%	3,5	X	X	X	X	X

Fonte: As Autoras (2022).

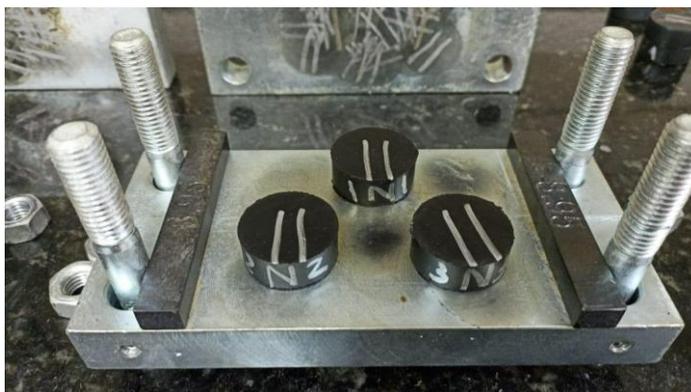
Pode ser visto na tabela 2 as seguintes informações na borracha A que seria a borracha curada com enxofre foi utilizado 1,8phr de enxofre para 1phr de DPG e 1,5phr de CBS, na borracha B que é a borracha com doadores de enxofre foi utilizado 2,5phr de TMTD, 1,5 CBS e 2 DTDM, já na borracha C curada com peróxido a quantidade dele foi de 3,5phr sem acelerador pois o peróxido não necessita de um acelerador.

3.2 ENSAIOS

O primeiro ensaio foi o de DPC (teste de deformação permanente a compressão) sob deformação constante em elastômeros vulcanizados cuja dureza esteja entre 30 a 90 Shore A (Figura 1) foram utilizados 3 corpos de prova A, B e N, onde A é a borracha com enxofre, B com doadores de enxofre N era borracha com peróxido.

O teste de DPC foi colocado em uma estufa na temperatura de 120°C em 48h utilizando a norma ASTM D 395 (2001). O teste DPC consiste em comprimir as amostras em 25% da altura dela utilizando um espaçador de 75%. (Figura 2)

Figura 1: Teste de DPC 48h a 120° amostras antes do ensaio



Fonte: As Autoras (2022).

Figura 2: Teste de DPC 48h a 120°c espaçador



Fonte: As Autoras (2022).

3.3 ENVELHECIMENTO

Este método consiste em submeter os corpos-de-prova em uma estufa por períodos específicos a uma temperatura elevada com ausência de luz, avaliando a deterioração de suas propriedades físicas com tempo causada pela oxidação e temperatura, ou seja, envelhecimento.

Para isso foram seguidas algumas normas: ASTM D 573 (1999) – Test method for rubber. Deterioration in na air oven, ASTM E 145 (1994) – Standard specification for gravity convection and forced-ventilation ovens.

As Estufas utilizadas são do tipo IIB que seguem o especificado na Norma ASTM e 145 para temperatura até 70°C e tipo IIA para temperaturas superiores. Foi deixado nas estufas as placas N, B e A por 48h a 120°C (Figura 3).

Figura 3: Placas N, B e A amostras antes do teste



Fonte: As Autoras (2022).

3.4 DUREZA

Para verificar a dureza em Shore A utilizasse a normas DIN 53505-00, nesse caso o corpo de prova deve se manter a uma temperatura de +/- 23°. Devem estar nessa condição pelo menos uma hora antes da realização do ensaio. Quando o ensaio for efetuado em temperaturas diferentes, o durometro e o corpo de prova devem ser mantidos a temperatura do ensaio pelo menos uma hora antes de sua realização e deve ser registrada a nova condição de ensaio.

Para a leitura da dureza segundo a norma de DIN 53505 foi mantido 3segundos pressionado, foi utilizado o durometro sem apoio e foram feitas 5 medidas de dureza no corpo-de-prova, sempre alterando a posição do penetrador, seguindo as orientações.

3.5 RESISTÊNCIA A TRAÇÃO

Este ensaio é feito para verificar a tração que o corpo-de-prova vai ter até sua ruptura, registrando a sua carga em função da deformação.

Neste ensaio foi utilizado com normas de referências: ABNT NBR 7462 (1992) – Elastômero vulcanizado. Determinação da resistência á tração, ASTM D 412-1998 – Standard test methods for vulcanized and thermoplastic elastomers: tension, DIN 53504 – 1994 – Determination of tensile stress / strain properties of rubber, ISO 37 (1994) – Rubber, vulcanize dor thermoplastic. Determination of tensile stress-strain properties.

O ensaio de tração foi utilizado um equipamento de dinamômetro cuja duas garras são presas no corpo-de-prova. Uma das garras é fixa e outra é móvel nesse ensaio foi utilizado a máquina da Kratos e juntamente utilizamos também um extensômetro para verificar o alongamento que fica no meio do corpo de prova. Então o corpo de prova é esticado até sua ruptura.

Para o processo utilizasse o dispositivo de corte para obtenção de corpos-de-prova em forma de gravatas (Figura 4) segundo a norma que ficou decidida no congresso de Akron de 1950 utilizam o método ASTM D 412 como padrão internacional. Os corpos-de-prova em gravatas são obtidos por uma máquina de corte com placa moldada.

O extensômetro não devem provocar rompimento do corpo de prova. A distância entre elas deve ser ajustada conforme o corpo de prova (Figura 5). No caso de corpo-de-prova segundo a norma ASTM D 412 tipo A e C, DIN 53504 tipos S1, S2 e S3A, a espessura deve ser 2, à $\pm 0,2\text{mm}$.

Segundo a Norma ASTM D 412 e DIN 53504, deve-se testar pelo menos três corpos de prova e o resultado será a mediana destes valores. O corpo de prova deve ser preso pelas extremidades as garras da máquina, tomando-se cuidado de regulá-lo simetricamente, de modo que a tensão se distribua uniformemente em qualquer secção transversal (Figura 6).

Figura 4: Gravatas



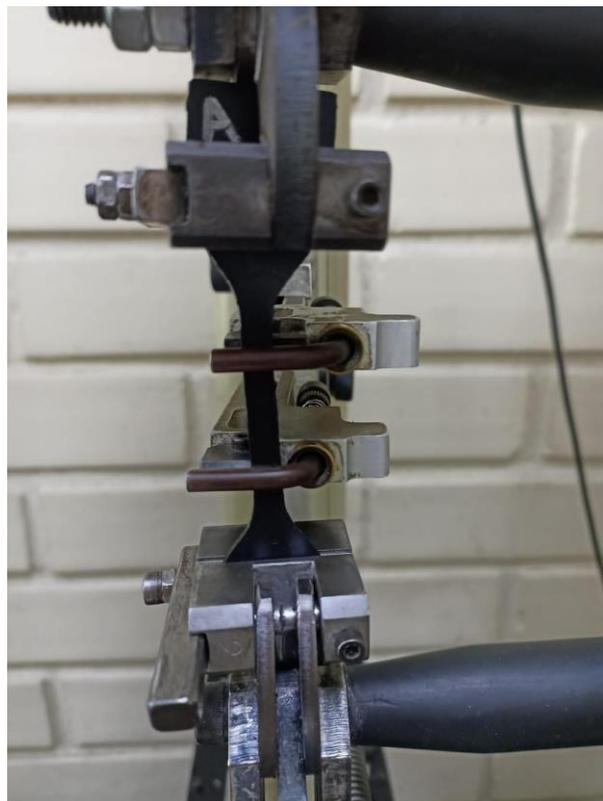
Fonte: As Autoras (2022).

Figura 5: Extensômetro



Fonte: As Autoras (2022).

Figura 6: Garras presas a gravata



Fonte: As Autoras (2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram analisados os testes nas amostras A, B e N, conforme as tabelas 3, 4 e 5, foi feito 5 testes para cada amostra.

Tabela 3: Teste borracha A com enxofre

Amostra A com Enxofre						
Tração MPa			Dureza Shore A		Alongamento %	
Amostras	Encontrado	Média	Encontrado	Médiana	Encontrado	Média
1	15,43	16,93	57	57	431,20	443,20
2	16,77		57		441,60	
3	17,24		57		445,20	
4	17,40		57		446,80	
5	17,82		57		451,20	

Fonte: As Autoras (2022).

Na tabela 3 as variações nos resultados de dureza, tensão de ruptura e alongamento antes do envelhecimento ao calor devem-se ao grau de reticulação (vulcanização) e a natureza das ligações feitas. A influência da densidade de crosslink nas propriedades físicas varia com a natureza do elastômero e com os

outros ingredientes da formulação. Como nesse caso usamos a mesma base de formulação variando apenas o tipo de reticulante esse é que influencia mais nas propriedades e sua influência afeta:

-módulo (trata-se da razão entre a tensão aplicada e a deformação sofrida por uma peça ou produto);

-dureza;

-tensão de ruptura;

-alongamento;

-rasgamento (rasgar com facilidade);

-deformação a compressão;

-creep (é quando há um relaxamento de tensão, submetido a uma deformação constante);

-inchamento (quando submetida a algum produto).

Tabela 4: Teste Amostra B com doadores de Enxofre

Amostra B Massa com Doadores						
Tração Mpa (mínimo 13 Mpa)			Dureza Shore A		Alongamento (mínimo 350%)	
Amostras	Encontrado	Média	Encontrado	Médiana	Encontrado	Média
1	12,69	13,52	57	57	340,80	345,20
2	13,24		58		358,00	
3	13,53		58		349,60	
4	13,97		57		313,20	
5	14,16		57		364,40	

Fonte: As Autoras (2022).

Tabela 5: Teste amostra N com peróxido

Amostra N Massa com Peróxido						
Tração Mpa			Dureza Shore A		Alongamento %	
Amostras	Encontrado	Média	Encontrado	Médiana	Encontrado	Média
1	16,50	16,74	54	54	451,60	480,40
2	16,57		54		480,40	
3	16,72		54		479,20	
4	16,81		54		500,40	
5	17,11		54		490,40	

Fonte: As Autoras (2022).

A variação da dureza, alongamento nas tabelas é em função do grau da reticulação e no tipo de ligação.

Foi analisado também os testes com as amostras envelhecidas podendo ter uma comparação e verificar o que acontece quando são mantidas a uma temperatura na estufa de 100°C a 70h, na tabelas 6,7,8. Todas as comparações feitas são feitas de amostras antes do envelhecimento e depois do envelhecimento

Tabela 6: Envelhecimento amostra A

Envelhecimento 70h 100°C				
Ensaio de Envelhecimento - alteração de tração				
Amostras	Inicial	Final	Especificado	Média
1	15,43	15,51	0,5	-2,0
2	16,77	15,68	-6,5	
3	17,24	17,01	-1,3	
4	17,40	17,30	-0,6	
5	17,82	17,48	-1,9	
Ensaio de Envelhecimento - alteração de alongamento				
Amostras	Inicial	Final	Especificado	Média
1	431,20	369,20	-14,4	-21,3
2	441,60	364,40	-17,5	
3	445,20	318,40	-28,5	
4	446,80	372,40	-16,7	
5	451,20	317,20	-29,7	
Ensaio de Envelhecimento - alteração de dureza				
Amostras	Inicial	Final	Especificado	Mediana
1	57	64	7	7
2	57	64	7	
3	57	63	6	
4	57	63	6	
5	57	64	7	

Fonte: As Autoras (2022).

Tabela 7: Envelhecimento amostra B

Envelhecimento 70h 100°C				
Ensaio de Envelhecimento - alteração de tração				
Amostras	Inicial	Final	Especificado	Média
1	12,69	13,14	3,5	4,8
2	13,24	13,63	2,9	
3	13,53	14,30	5,7	
4	13,97	14,60	4,5	
5	14,16	15,22	7,5	
Ensaio de Envelhecimento - alteração de alongamento				
Amostras	Inicial	Final	Especificado	Média
1	340,80	289,60	-15,0	-11,7
2	358,00	300,40	-16,1	
3	349,60	302,00	-13,6	
4	313,20	302,80	-3,3	
5	364,40	325,60	-10,6	
Ensaio de Envelhecimento - alteração de dureza				
Amostras	Inicial	Final	Especificado	Médiana
1	57	62	5	5
2	58	62	4	
3	58	63	5	
4	57	63	6	
5	57	63	6	

Fonte: As Autoras (2022).

Tabela 8: Envelhecimento amostra N

Envelhecimento 70h 100°C				
Ensaio de Envelhecimento - alteração de tração				
Amostras	Inicial	Final	Especificado	Média
1	16,50	16,03	-2,8	-1,0
2	16,57	16,19	-2,3	
3	16,72	16,34	-2,3	
4	16,81	16,93	0,7	
5	17,11	17,41	1,8	
Ensaio de Envelhecimento - alteração de alongamento				
Amostras	Inicial	Final	Especificado	Média
1	451,6	433,60	-4,0	-2,8
2	480,4	436,40	-9,2	
3	479,2	461,20	-3,8	
4	500,4	501,20	0,2	
5	490,4	504,40	2,9	
Ensaio de Envelhecimento - alteração de dureza				
Amostras	Inicial	Final	Especificado	Médiana
1	54	60	6	6
2	54	60	6	
3	54	60	6	
4	54	60	6	
5	54	60	6	

Fonte: As Autoras (2022).

As variações após envelhecimento ao calor se dão principalmente pela natureza das ligações feitas. Com peróxido tem-se ligações C-C, com enxofre ligações poli,mono e di sulfídicas sendo essa última a que mais predomina enquanto com doadores de enxofre a incidência de mono e di sulfídicas é muito maior. Em função disso pode-se ver na (Tabela 9) abaixo que a reticulação com enxofre é a que precisa de menos energia para romper a ligação portanto a que sofre mais influência no envelhecimento ao calor e a com peróxido a que sofre menos influência.

Tabela 9: Ligações

Energia necessária para romper as ligações	
C – C (peróxido)	335 KJ/mol
C – S – C (monosulfídica)	310 KJ/mol
C – S ₂ – C (disulfídica)	226 KJ/mol
C – S _x – C (polisulfídica)	142 KJ/mol

Fonte: As Autoras (2022).

Os testes feitos nas Tabela 10, Tabela 11 e Tabela 12, são de DPC, onde foi deixado na estufa por 48h a 120°C.

Tabela 10: DPC amostra A com Enxofre

Ensaio de DPC 48h a 120°C				
Amostras	Inicial	Espaçador	Final	Encontrado
1	11,94	8,97	10,25	56,90
2	11,95		10,31	55,03

Fonte: As Autoras (2022).

Na Tabela 10 durante o envelhecimento ao calor em compostos com enxofre, há rompimento de ligações e formação de outras. No ensaio de deformação a compressão(DPC) essas novas ligações atuam no corpo de prova que se encontra deformado como se ele estivesse sendo vulcanizado novamente fazendo que ao abrir o equipamento de teste essas novas ligações impeçam que o corpo de prova retorne a sua altura original o que explica a alta deformação.

Tabela 11: DPC amostra B Com doadores

Ensaio de DPC 48h a 120°C				
Amostras	Inicial	Espaçador	Final	Encontrado
1	11,83	8,95	11,45	13,19
2	12,05		11,45	19,35

Fonte: As Autoras (2022).

Tabela 12: DPC amostra N Com peroxido

Ensaio de DPC 48h a 120°C				
Amostras	Inicial	Espaçador	Final	Encontrado
1	11,93	8,95	11,45	16,11
2	11,85		11,44	14,14

Fonte: As Autoras (2022).

Nas Tabela 11 com doadores e Tabela 12 com peroxido o encontrado ficou dentro do limite de 25% de compressão onde pode ser analisado que as amostras são comprimidas porem voltam ao seu estado inicial, então não obtem uma perda de memoria igual as amostras com enxofre que ao comprimir não volta ao seu estado inicial.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se nesse trabalho que ao analisar as propriedades mecânicas através de testes de dureza, deformação permanente por compressão (DPC), e tração/deformação com envelhecimento e sem da borracha nitrílica (NBR) no processo de vulcanização curada com enxofre, doadores de enxofre e peroxido, podemos afirmar que o peróxido é mais estável por conta que as ligação ocorrem em C-C precisando de mais energia para o rompimento assim tendo melhores resultados ao envelhecimento, no caso do enxofre as suas ligações são mais frágeis e se rompem com facilidade, então no alongamento é possível ver que quando submetido o envelhecimento ele perde suas propriedades ficando mais rígido. No teste de DPC é analisado que a compressão fica acima de 25% oque ocorre por conta que ele não volta ao seu estado inicial.

Pode-se afirma que o peroxido é o melhor pois demora romper ligações, o com doadores de enxofre precisa um pouco menos e com enxofre rompe com facilidades as ligações pois requer menos energia.

O peroxido então tendo os melhores resultados seria o melhor para utilização, por mais que o enxofre tenha um processo mais rentável para as empresas trazendo maiores demandas e melhor custo-benefício, o processo de vulcanização é extremamente propenso à degradação oxidativa.

REFERÊNCIAS

GOMES, Manuel Morato. **Vulcanização sem Enxofre**. Disponível em: <<https://http://www.rubberpedia.com/vulcanizacao-sem-enxofre.php>>, Acesso em: 02 mai. 2022.

QUEVEDO, Renata Tomaz. **Elastômeros**. Graduação em Química, Universidade Anhanguera, 2016.

Apostila de **Ciência e comportamento dos materiais plásticos I** – Núcleo de Tecnologia do Plástico, SENAI SP, 2012.

GOMES, Manuel Morato. **Vulcanização com Enxofre**. Disponível em: <<https://http://www.rubberpedia.com/vulcanizacao-sem-enxofre.php>>, Acesso em: 02 mai. 2022.

SOUZA, Sérgio Gomes; HERBST, Giulia; SILVEIRA, Marcia Luciane Lange; KUREK, Ana Paula; SELLIN, Noeli. **Avaliação de diferentes formulações de compostos elastoméricos SBR/NR visando minimizar a pré-vulcanização**. 2018. 11 f. Dissertação - Curso de Química Orgânica, Instituto de Química, Universidade Univille, Joinville, 2018. Disponível em: <<http://https://www.scielo.br/j/rmat/a/zwbxyzr5XSsDw46Sy9JBjhJ/?format=pdf&lang=pt>>

COSTA, Helson M.; VISCONTE, Leila L. Y.; NUNES, Regina C. R., **Polímeros: Ciência e Tecnologia - Aspectos Históricos da Vulcanização**, v. 13, n. 2, p. 125-129, 2003.