

INFLUÊNCIA DO TEOR DE NEGRO DE FUMO NAS PROPRIEDADES DA BORRACHA

INFLUENCE OF CARBON BLACK CONTENT ON RUBBER PROPERTIES

INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE NEGRO DE CARBONO EN LAS PROPIEDADES DEL CAUCHO

Stephany Alves Santana¹, Lucas Solera dos Santos Moya², Mateus Alves de Melo³, Marcelly Mauricio Brandão Silva⁴

DOI: 10.54899/dcs.v22i85.4012

Recibido: 07/11/2025 | Aceptado: 04/12/2025 | Publicación en línea: 10/12/2025.

RESUMO

Este estudo investigou a influência do teor de negro de fumo no processo de fabricação de borrachas destinadas à indústria de pneus automotivos. Inicialmente, foram abordadas a composição e a estrutura química da borracha, bem como a morfologia e as principais características do negro de fumo enquanto agente de reforço mecânico. Posteriormente, foi conduzido um estudo experimental para avaliar o impacto da variação do teor desse material nas propriedades físico-mecânicas da borracha, considerando parâmetros como resistência, módulo, alongamento e comportamento de reometria. Os resultados demonstraram que diferentes quantidades de negro de fumo geram alterações significativas no desempenho da borracha, influenciando diretamente sua resistência mecânica e durabilidade. Além disso, o estudo evidencia a importância e relevância do controle preciso da concentração de negro de fumo durante a etapa de formulação, a fim de otimizar as propriedades finais da borracha e garantir o desempenho adequado dos pneus em suas diversas condições de uso.

Palavras-chave: Negro de Fumo. Borracha. Pneus. Resistência.

ABSTRACT

This study investigated the influence of carbon black content in the manufacturing process of rubbers intended for the automotive tire industry. Initially, the composition and chemical structure of rubber were addressed, as well as the morphology and main characteristics of carbon black as a mechanical reinforcing agent. Subsequently, an experimental study was conducted to evaluate the impact of varying the content of this material on the physical-mechanical properties

¹ Graduanda em Engenharia Química, Universidade São Judas Tadeu, São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil.
E-mail: stephanyas898@gmail.com

² Graduando em Engenharia Química, Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, São Paulo, Brasil.
E-mail: lucas.solera.moya@gmail.com

³ Graduando em Engenharia Química, Universidade São Judas Tadeu, Rio Grande da Serra, São Paulo, Brasil.
E-mail: mateus.alves@gmail.com

⁴ Mestra em Química Inorgânica, Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.
E-mail: marcellymauricio25@gmail.com

of the rubber, considering parameters such as strength, modulus, elongation, and rheometry behavior. The results demonstrated that different amounts of carbon black generate significant changes in the performance of the rubber, directly influencing its mechanical strength and durability. Furthermore, the study highlights the importance and relevance of precisely controlling the concentration of carbon black during the formulation stage, in order to improve the final properties of the rubber and ensure the adequate performance of tires in their various conditions of use.

Keywords: Carbon Black. Rubber. Tires. Durability.

RESUMEN

Este estudio investigó la influencia del contenido de negro de humo en el proceso de fabricación de cauchos destinados a la industria de neumáticos automotrices. Inicialmente, se abordó la composición y la estructura química del caucho, así como la morfología y las principales características del negro de humo como agente de refuerzo mecánico. Posteriormente, se realizó un estudio experimental para evaluar el impacto de la variación del contenido de este material en las propiedades físico-mecánicas del caucho, considerando parámetros como resistencia, módulo, elongación y comportamiento reométrico. Los resultados demostraron que diferentes cantidades de negro de humo generan cambios significativos en el desempeño del caucho, influyendo directamente en su resistencia mecánica y durabilidad. Además, el estudio destaca la importancia y relevancia de controlar con precisión la concentración de negro de humo durante la etapa de formulación, con el fin de mejorar las propiedades finales del caucho y garantizar el desempeño adecuado de los neumáticos en sus diversas condiciones de uso.

Palabras clave: Negro de Carbón. Caucho. Neumáticos. Durabilidad.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUÇÃO

O negro de carbono, popularmente conhecido como “negro de fumo” ou “fuligem”, é um material constituído principalmente de carbono, e é obtido a partir da decomposição térmica ou queima incompleta de hidrocarbonetos, sendo um dos principais produtos que podem ser produzidos a partir de derivados do petróleo. Apresenta-se como um pó fino e de coloração preta a olho nu, porém microscopicamente sua estrutura consiste em partículas esferoidais as quais possuem um núcleo muito desordenado envolto ordenadamente por camadas de carbono (grafeno ou grafite) que possui diversas aplicações que viabilizam seu uso na indústria (Costa, 2023).

A composição e estrutura química do negro de fumo podem variar dependendo do seu

processo de fabricação, podendo conter uma quantidade de 95% a 99,75% de carbono, 0,2% a 4% de oxigênio e 0,2% a 1,3% de hidrogênio, 0,1 a 1,0% de enxofre e até 0,7% de nitrogênio (Costa, 2023). O negro de fumo possui inúmeras aplicações na indústria devido às características químicas de sua superfície e tamanho de partículas, tornando-o um material muito versátil, aplicado, por exemplo, na fabricação de polímeros, onde pode ser utilizado como aditivo para materiais que ficam expostos ao clima, como pigmento em tintas. É usado na produção de borrachas de diversos tipos, em especial, na produção de pneus onde se apresenta como um componente indispensável em sua confecção, fornecendo resistência mecânica e térmica ao produto, que sem ele tornaria inviável a sua utilização (Costa, 2023).

O tamanho das partículas de negro de fumo (de 80 nm a 500 nm) exerce uma grande influência nas propriedades mecânicas dos pneus, em especial nas borrachas. Nestes, partículas menores apresentam uma melhor propriedade de reforço, melhorando a resistência à abrasão e tensão de ruptura do material, ao passo que também tornam maiores a energia e o tempo de processamento da mistura. Pneus feitos sem a adição do negro de fumo teriam uma resistência baixa e se desgastariam extremamente rápido (Birla Carbon, 2024). O negro de fumo não existe sob a forma de partículas primárias isoladas, mas sim como agregados resultantes da união dessas partículas elementares. Isso influencia diretamente as propriedades do material e essa estrutura dependerá da forma e do grau de ramificação desse agregado. Um aumento na estrutura proporcionará uma elevação do Módulo de elasticidade, da Dureza e da Condutividade Elétrica, melhorando a dispersão do negro de fumo, entretanto, aumentará também a viscosidade do composto (Birla Carbon, 2024).

Além das propriedades já expostas, o negro de fumo apresenta ainda dois parâmetros também essenciais em seu processo de produção, sendo eles a “atividade superficial” ou superfície química, uma propriedade de difícil quantificação que é percebida por meio das propriedades do material como a resistência à abrasão, tensão de ruptura, histerese e módulo. A outra é a “porosidade”, também relacionada ao processo de produção do composto, e é avaliada subtraindo-se a área superficial total (NSA) da área superficial externa (STSA) do agregado. Aumentando-se a porosidade, reduz-se a densidade do agregado, possibilitando o aumento da carga, mantendo-se a densidade do composto (Birla Carbon, 2024).

O negro de fumo é bom condutor de eletricidade, porém sua condutividade é muito inferior à do grafite. Entretanto, para que se estabeleça um caminho condutivo, é necessário que a distância

entre as partículas seja muito pequena e sua concentração seja suficientemente alta. Além disso, é um material que possui baixa condutividade térmica e é relativamente estável termicamente, não entrando em combustão em temperaturas abaixo de 600°C, por isso é utilizado como aditivo em materiais que necessitam de estabilidade térmica como borrachas de alta performance (Monteiro, 2015). Com isso, o objetivo deste trabalho é discutir a influência do teor do negro de fumo no processo de fabricação da borracha e analisar as características e propriedades do produto obtido.

REVISÃO DA LITERATURA

História do Negro de Fumo

O negro de fumo é um dos produtos petroquímicos mais antigos, com registros de seu uso há mais de 5 mil anos, quando chineses e egípcios utilizavam o pó preto ou fuligem em tintas para murais e impressão. Sua composição é basicamente carbono obtido a partir da decomposição térmica de óleos ricos em hidrocarbonetos (Birla Carbon, 2024).

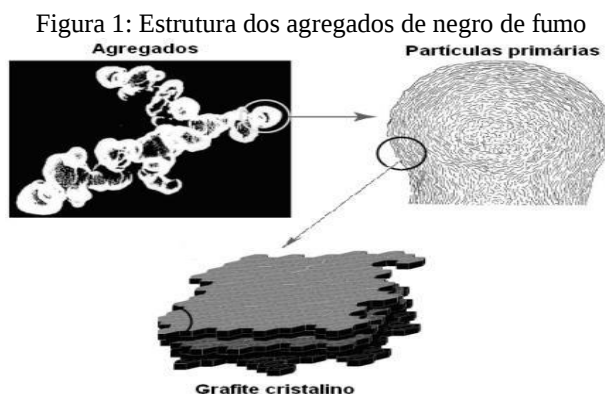
Segundo o presidente da Birla Carbon para a América do Sul, Ronaldo Silva Duarte (Duarte, 2024). “Uma fuligem é uma combustão incompleta e, no caso do negro de fumo, é um craqueamento térmico de óleos residuais aromáticos”. Sem a aplicação do negro de fumo, o pneu não duraria mais de 100 km. Mas a relação entre a pigmentação e a borracha se deu praticamente por acaso. Quando Henry Ford começou a criar seus primeiros veículos, eles eram todos pretos. No entanto, como eram feitos de borracha natural, os pneus eram brancos. “Ele pediu a um fabricante que pigmentasse o

pneu. Se pintasse o pneu, ele iria descolorir, então era necessário que a borracha fosse pigmentada. Foi quando então eles misturaram o negro de fumo à borracha”. Nesse momento foi descoberto que o negro de fumo não era só um pigmento, mas também uma carga que melhorava as propriedades mecânicas da borracha (Reparação Automotiva, 2021).

Características do Negro de Fumo

O negro de fumo é um composto à base de carbono formado a partir da queima incompleta

ou da decomposição de hidrocarbonetos. A estrutura é composta por aglomerados de pequenas esferas chamadas partículas primárias ou nódulos, que são formadas por minúsculas camadas de grafite conforme a figura 1 (Costa, 2023).



Fonte: DA SILVA, M. J. (2009)

As principais características do negro de fumo, importantes em sua utilização na indústria, são sua química presente na sua superfície, o tamanho da partícula e suas propriedades térmicas. Em relação ao tamanho de partícula, ela influencia diretamente as propriedades de resistência mecânica do material onde está sendo utilizado, sendo estes materiais classificados como ativos, semiativos e inativos (COSTA, 2023).

Os negros de fumo ativos têm um tamanho de partícula na faixa de 15 nm a 30 nm, com sua principal característica de reforço na resistência mecânica. Os semiativos com uma faixa de tamanho entre 40 nm e 60 nm possuem uma menor capacidade de reforço mecânico. Os inativos, com a faixa de tamanho acima de 60 nm possuem reforço mecânico limitado (Costa, 2023).

Morfologia

A morfologia do negro de fumo está relacionada aos tamanhos dos nódulos, tamanho e forma do agregado, as menores unidade discretas dos agregados, podem variar de 85 nm a 500 nm, esses agregados por sua vez são constituídos por nódulos de tamanho que vão de 0 nm a 300 nm, estes agregados são formados por ligações covalentes entre os nódulos, e os agregados formados se unem com outros agregados pela força de Van Der Waals e formam os aglomerados que podem chegar a tamanhos de 1 nm para mais de 100 μm (Costa, 2023).

Figura 2: Arranjo de estruturas diferentes do negro de fumo



Fonte: Associação internacional do negro de fumo, 2016

A figura 2 demonstra a relação de tamanhos entre os arranjos das diferentes estruturas do negro de fumo, onde partículas individuais acabam se aglutinando e formando nódulos que tem seus tamanhos variando de 0 a 300 nm, esses nódulos podem aglutinar-se novamente formando os agregados que têm tamanhos que podem variar de 85 a 500 nm, estes mesmos agregados podem juntar-se novamente, formando partículas ainda maiores chamadas de aglomerados que tem tamanhos que podem chegar de 1 a 100 μm . O tamanho dos nódulos e sua distribuição são o que dita suas propriedades e aplicações, pois é uma característica crítica para a área da superfície específica, no entanto, a uniformidade dos agregados pode variar por tipos de negro de fumo. Muitos negros de fumo têm sua faixa de tamanho de nódulo muito estreita, enquanto outros são misturas bastante amplas de diversos tamanhos de partículas. Essas variações influenciam o comportamento da área superficial do negro de fumo (Costa, 2023).

A área superficial é uma das características mais importantes e influentes no negro de fumo; esta é uma característica que determina a área entre o negro de fumo e o meio em que está disperso. Os negros de fumo fabricados industrialmente tem sua área superficial que pode variar de 8 m^2/g (negro de fumo termal) a 1000 m^2/g (negro de fumo usado como pigmentos), os negros de fumo com uma área superficial acima de 150 m^2/g normalmente são porosos com os diâmetros dos poros inferiores a 1 nm, quanto maior sua área de superfície maior serão os poros e isto está diretamente ligado a sua molhabilidade, ou seja, sua absorção de água, solventes e aditivos, a natureza de absorção é importantíssimo para a dispersão do negro de fumo no sistema, o que deve ser muito bem considerado ao escolher um negro de fumo como pigmento de tintas ou carga para borracha (Costa, 2023).

A morfologia do agregado é outra característica que influencia o desempenho do negro de fumo, a estrutura é associada ao volume dos agregados individuais, agregados de mesma massa, área superficial e número de nódulos tem alta estrutura quando estão em arranjo aberto (poroso) e filamentosos, isto permite descrever as características de volume vazio relativo e negros

de fumo de mesma área superficial. São fatores geométricos que afetam o empacotamento dos agregados e o volume vazio do material. Na borracha, propriedades como viscosidade, condutividade e abrasão são afetadas pela estrutura (Monteiro, 2015).

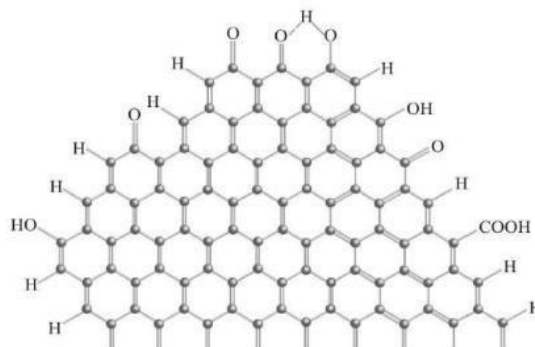
É possível controlar a morfologia do negro de fumo e sua área superficial ao ajustar os parâmetros de reação. Aumentar a temperatura da reação é um grande fator que influencia neste quesito. Aumentar a temperatura leva a uma maior taxa de pirólise e à formação de mais núcleos, o que limita seu crescimento; logo, é possível aumentar sua área superficial usando combustíveis, entrada de ar e matérias-primas (Monteiro, 2015).

O nódulo do negro de fumo possui uma microestrutura grafítica degenerada, de ordem bidimensional. Elas ficam empilhadas umas nas outras aproximadamente paralelamente, porém de forma aleatória em relação às adjacentes, os carbonos nesta estrutura formam grandes folhas de anéis aromáticos com um espaçamento interatômico de 0,142 nm e as interplanares de aproximadamente 0,350 nm. Para um negro de fumo típico o diâmetro médio do cristalito de largura 1,7 nm e espessura de 1,5 nm, o que corresponde a quatro planos de camadas por cristalito contendo 375 átomos de carbono (Monteiro, 2015). Inicialmente foi sugerido que os cristalitos discretos estavam em orientação aleatória dentro do nódulo. Hoje, com os avanços na microscopia eletrônica, sabe-se que o negro de fumo é constituído por mais de um arranjo de plano de camada concêntrica, que pode ser descrito por um modelo paracristalino (cristalino e amorfo) (Monteiro, 2015).

Composição Química

O negro de fumo é a forma química do carbono praticamente puro (contém concentrações acima de 90% de carbono), faz parte da classe dos carbonos poliméricos e assemelha-se muito ao grafite e ao diamante, porém com um grau organizacional extremamente inferior, o negro de fumo é formado por majoritariamente de carbono e de outras substâncias como hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, dióxido de carbono e monóxido de carbono, considerado um material amorfo, conforme figura 3 (Monteiro, 2015).

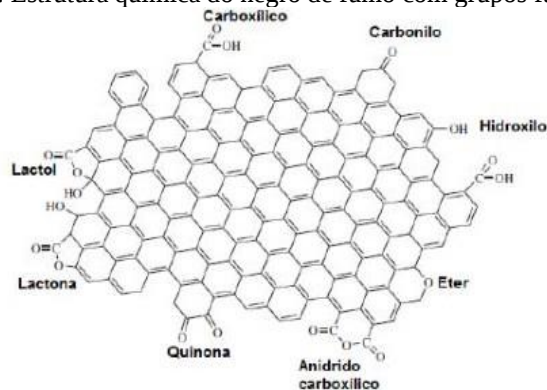
Figura 3: Estrutura química do negro de fumo



Fonte: SARON; FELISBERTI, 2006.

Dentro da massa amorfa existe uma estrutura microcristalina de anéis condensados semelhantes à exibida pelo grafite. Esses arranjos, dentro da massa amorfa, estão distribuídos ao acaso. Consequentemente, uma grande porcentagem de arranjos origina bordas na superfície dos planos de suas camadas. Associadas a essas bordas existe um grande número de insaturações que irão se transformar em sítios quimicamente ativos, pela formação de grupos funcionais variados, como carboxila, hidroxilas, cetonas e lactonas, conforme figura 4 (Monteiro, 2015).

Figura 4: Estrutura química do negro de fumo com grupos funcionais.



Fonte: WANG *et al.*, 2003.

Processo Produtivo de Fabricação do Pneu

A produção de pneus no Brasil teve seu início em 1936 com a instalação da Companhia Brasileira de Artefatos de Borracha, mais conhecida como Pneus Brasil, no Rio de Janeiro, que em seu primeiro ano de vida fabricou mais de 29 mil pneus. Entre 1938 e 1941, outras grandes fabricantes do mundo passaram a produzir seus pneus no país, elevando a produção nacional para 441 mil unidades. No final dos anos 80, o Brasil já tinha produzido mais de 29 milhões de pneus

(FIESP, 2024).

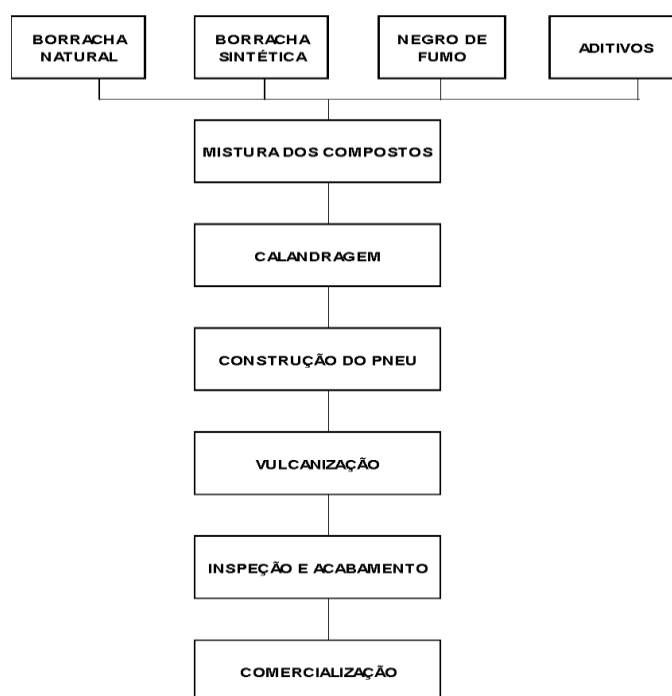
O processo de fabricação de um pneu requer várias etapas e matérias-primas, podendo ultrapassar mais de 200 matérias-primas diferentes que têm diversas funções específicas nas propriedades dos pneus, entre elas temos outros elementos como enxofre, vulcanizantes, plastificantes, fios metálicos ou têxteis. Têm-se 3 componentes principais envolvidos no processo de fabricação, sendo eles: a borracha sintética, a borracha natural e o negro de fumo (Quatro Rodas, 2018). A borracha sintética em muitos casos pode substituir a borracha natural já que resiste melhor ao envelhecimento, às rachaduras e à abrasão do que o produto natural, porém possui resistência e flexibilidade inferiores à borracha natural (SETIC-UFSC, 2024). A borracha natural (ou látex) é misturada com a sintética, pois possui boas propriedades mecânicas, especificamente a sua elasticidade e flexibilidade a baixas temperaturas (até aproximadamente -55°C), boa resistência à tração, resistência ao calor (80° - 90° C), excelentes propriedades dinâmicas e alta permeabilidade ao gás (SETIC-UFSC, 2024).

O negro de fumo é utilizado principalmente como carga de reforço e pigmento para a borracha, garantindo a sua durabilidade e cor escura, assim como diversas outras funções como estabilizador UV, agente condutivo e agente isolante (Birla Carbon, 2024). Além das diversas matérias primas, têm-se também vários processos diferentes envolvidos na produção de um pneu, como mistura da borracha e dos compostos onde o processo começa com a mistura de borracha natural com a sintética, além de outros compostos como enxofre, negro de fumo e óleos. Essa mistura é chamada de “mistura de pneu” ou “mistura de compostos”. Ela determina as características do pneu, como aderência, durabilidade e resistência (Quatro Rodas, 2018); Calandragem onde a mistura de borracha é passada por rolos de calandra para formar folhas. Essas folhas são usadas para criar as diferentes camadas do pneu (Quatro Rodas, 2018); Construção do pneu cujo é construído em camadas. As principais camadas são os talões, as cintas, as lonas, a banda de rolagem e a parede lateral. Os talões são as partes do pneu que se encaixam na roda. Geralmente, são feitas de fios de aço revestidos de latão; As cintas são camadas de tecido de poliéster ou aço que dão ao pneu sua estrutura e resistência; as lonas são camadas de tecido de náilon ou poliéster que reforçam o pneu; a banda de rolagem é a parte do pneu que entra em contato com a estrada. Ela é feita de uma mistura especial

de borracha para aderência e durabilidade; A parede lateral é a parte que protege o pneu e conecta a banda de rodagem à roda (Quatro Rodas, 2018); Vulcanização onde o pneu é colocado

em um molde aquecido para vulcanizar as camadas. Isso cria uma ligação forte entre os materiais e dá forma ao pneu (Quatro Rodas, 2018); Inspeção e acabamento cujo após a vulcanização, o pneu passa por inspeção rigorosa. Qualquer defeito é corrigido, e o pneu é aparado para obter o formato final (Quatro Rodas, 2018); Marcação e rotulagem onde o pneu é marcado com informações importantes, como tamanho, capacidade de carga, velocidade máxima e data de fabricação (Quatro Rodas, 2018). A figura 5 a seguir exemplifica o processo produtivo de um pneu automotivo:

Figura 5: Processo produtivo de um pneu



Fonte: Os Autores

PARTE EXPERIMENTAL

Materiais e Métodos

Existem duas formas de expressar uma formulação para compostos de borracha, sendo uma através da porcentagem, onde se tem a quantidade proporcional de cada componente representada através de um percentual em referência ao total. A outra forma estabelece uma formulação baseada no PHR (da expressão em inglês Per Hundred Rubber), ou seja, “Cem Partes

de Borracha”. Isto significa que para cada 100 partes em peso de borracha são definidas quantas partes equivalentes serão utilizadas dos componentes aditivos. Esta é a forma utilizada na realização deste estudo experimental, estabelecendo uma formulação base a ser utilizada, empregando 51 PHR de negro de fumo, quantidade que está mais comumente utilizada em compostos de rodagem, como é mostrado na Tabela 1. Por outro lado, para a formulação de compostos de borracha, são utilizados diversos materiais que auxiliam na performance do produto, sendo alguns deles utilizados na fórmula base estabelecida. Para a execução do estudo experimental foram utilizados os seguintes aditivos: Óxido de zinco, antioxidante, ácido esteárico, acelerador e enxofre.

Tabela 1: Formulação base do composto de borracha

Materiais	PHR	Porcentagem (%)	Quantidade (Kg)
Polímero Sintético (SBR)	100	52,19	0,521
Óleo presente no polímero sintético	10	5,219	0,0521
Polímero Natural (NR)	20	10,438	0,104
Negro de fumo	51	26,618	0,266
Óxido de zinco	5	2,610	0,026
Anti oxidante	1	0,522	0,005
Ácido esteárico	2	1,044	0,010
Acelerador (TBBS)	0,6	0,313	0,003
Enxofre	2	1,044	0,010
TOTAL	191,6	100	1

Fonte: Os Autores

O estudo da influência do negro de fumo nas propriedades da borracha será realizado empregando 4 formulações (A, B, C e D), sendo “A” a fórmula base, variando apenas as quantidades de negro de fumo na formulação base, como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2: Diferentes valores de PHR de negro de fumo empregados na pesquisa

	PHR	Porcentagem (%)	Quantidade (Kg)
Teste A (Fórmula base)	51	26,618	0,266
Teste B	46	24,008	0,240
Teste C	40	20,877	0,209
Teste D	35	18,267	0,183

Fonte: Os Autores

Procedimento Experimental

As matérias-primas correspondentes a cada formulação foram pesadas utilizando-se uma balança analítica. Após a pesagem dos materiais aqueceu-se o moinho até 50°C para uma melhor aderência da borracha ao equipamento e adicionaram-se as borrachas sintética e natural, que apresentam coloração distinta, conforme demonstrado na Figura 6 para a formação da mistura que depois recebe os demais aditivos. Incorporaram-se os pigmentos pesados anteriormente à borracha no moinho até a mistura atingir 79,4 °C.

Figura 6: Mistura de borracha sintética e natural



Fonte: Os Autores

Após atingir a temperatura, o material passou pelo moinho 8 vezes (8 passes) para completa homogeneização dos pigmentos, demonstrada através da Figura 7. O composto é retirado do moinho em forma de lâmina e deixado para resfriar até a temperatura ambiente.

Figura 7: Composto final



Fonte: Os Autores

Teste de Reometria

Após a fabricação de todas as amostras, utilizaram-se aproximadamente 5 g no teste de reometria. O teste foi realizado em um reômetro (Figura 8) com temperatura de 200°C durante 2 minutos para visualizarmos o comportamento da amostra durante sua vulcanização.

Figura 8: Reômetro MDR



Fonte: Os Autores

Teste de peso Específico

Para o teste de peso específico utilizou-se uma amostra de 4 g, com o auxílio de uma prensa retirou-se o ar presente na amostra visto que pode interferir na massa da amostra, pesou-se a amostra em um densímetro de sólidos (Figura 9), mergulhou-se a amostra em solução de álcool e colocou-se a amostra na água presente no densímetro para obter o valor da densidade do material.

Figura 9: Prensagem da amostra no densímetro de sólido



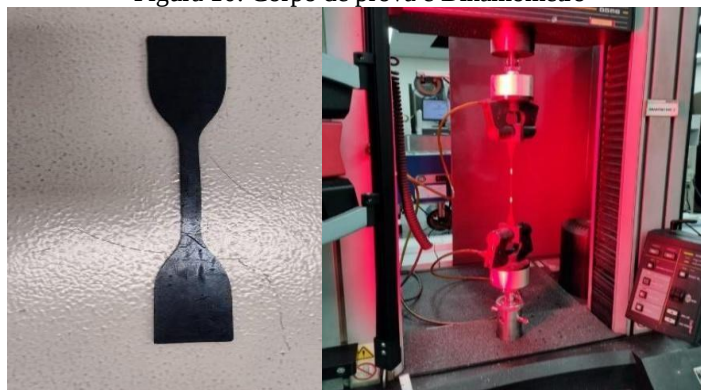
Fonte: Os Autores

Teste de Módulo, Tensão e Alongamento

Após a retirada do material do moinho, retirou-se uma amostra para realização do teste de módulo, tensão e alongamento. Para este teste, a amostra foi vulcanizada durante 30 min a 145°C em uma prensa para que o material obtenha espessura de 2 mm. A seguir, cortaram-se corpos de

prova conforme demonstrado e realizou-se o teste com o auxílio do equipamento Dinamômetro demonstrado na Figura 10, onde o corpo de prova é esticado até o momento de sua ruptura.

Figura 10: Corpo de prova e Dinamômetro



Fonte: Os Autores

RESULTADOS E DISCUSSÕES

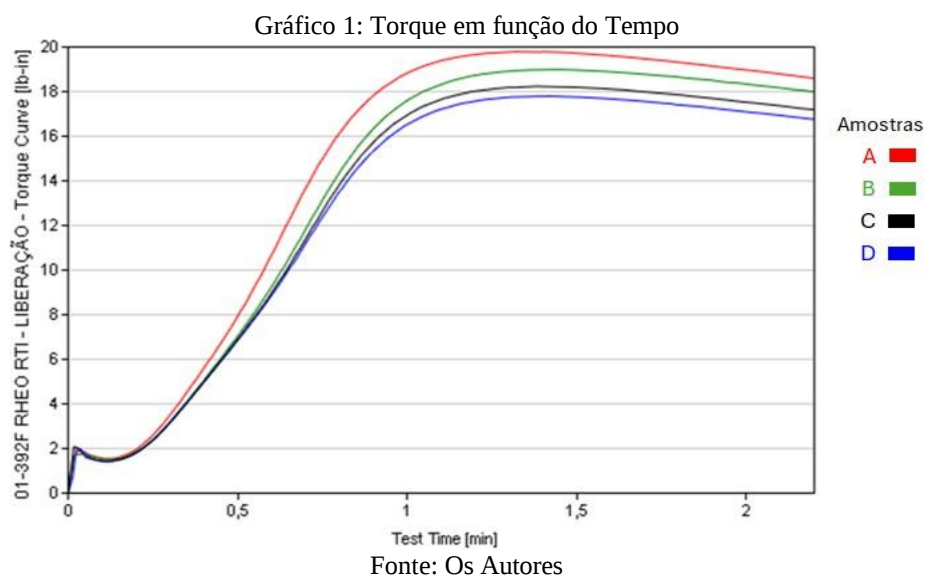
Na tabela 3 é possível verificar os resultados do teste de reometria realizado.

Tabela 3: Resultados de reometria

Ordem	Lote	Data do Teste	Hora do Teste	ML	MH	TS2 lb-in	T10	T50	T99
			(min)	(lb-in)	(lb-in)	(min)	(min)	(min)	(min)
A	1	19/07/2024	2,20	1,55	19,79	0,30	0,29	0,60	1,17
B	1	19/07/2024	2,20	1,51	18,99	0,32	0,30	0,64	1,24
C	1	19/07/2024	2,20	1,43	17,80	0,31	0,29	0,63	1,23
D	1	19/07/2024	2,20	1,42	18,24	0,32	0,30	0,64	1,23

Fonte: Os Autores

Observa-se que o “Teste A”, que apresenta o maior teor de negro de fumo, obteve o maior torque máximo enquanto o “Teste D”, que contém o menor teor de negro de fumo, obteve o menor torque máximo. Isso ocorre visto que o negro de fumo atua em compostos de borracha como carga reforçante, desta maneira, ao acrescentarmos negro de fumo em formulações de borracha, aumentaremos sua resistência, sendo assim, o resultado será o torque maior.



A partir do gráfico 2 é possível verificar a diferença obtida entre as amostras realizadas, os resultados também podem ser verificados através da tabela 4.

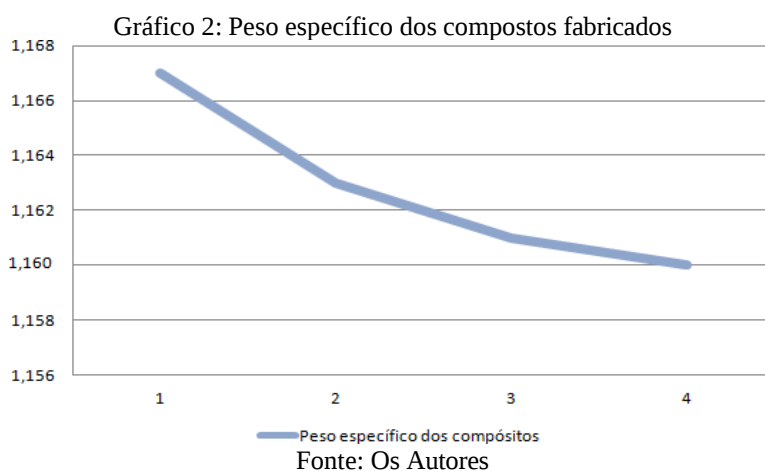


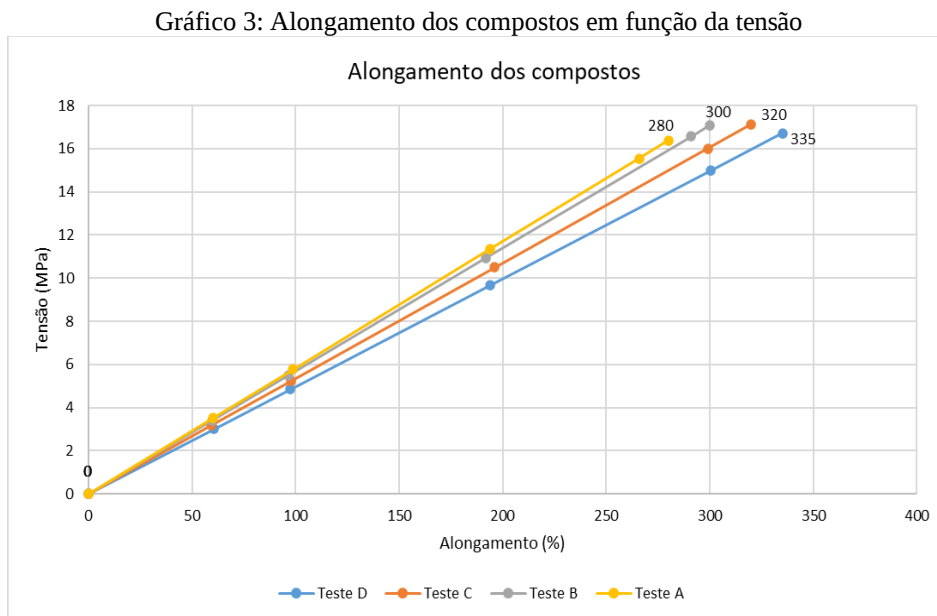
Tabela 4: Peso específico dos compostos fabricados

	Peso Específico (g/cm³)
Teste A	1,167
Teste B	1,163
Teste C	1,161
Teste D	1,160

Fonte: Os Autores

Com base nos dados coletados, é possível verificar que o teste contendo maior teor de negro de fumo apresentou peso específico maior comparado com os demais testes. Isto ocorre pois o peso é determinado a partir da quantidade de material presente na amostra, se acrescentamos

mais massa em nossa amostra, maior será seu peso. Após realizado o teste de MTA, os resultados obtidos estão demonstrados no gráfico X abaixo.



Fonte: Os Autores

A partir do gráfico é possível identificar que a amostra que continha maior teor de negro de fumo (Teste A) obteve um alongamento inferior em relação aos demais testes. Este fato ocorre, pois quanto maior o teor de negro de fumo presente no composto, maior é sua resistência, uma vez que o negro de fumo é uma carga reforçante em compostos de borracha. Ao aumentar seu teor na formulação, estamos acrescentando maior resistência ao composto. Na indústria de pneus, compostos com maior resistência são utilizados para a fabricação dos materiais de carcaça do pneu, como, por exemplo, as lonas estabilizadoras. Já a amostra com menor teor de negro de fumo (Teste D) apresentou um alongamento maior, devido a sua baixa resistência à tração. Compostos deste tipo são utilizados na indústria de pneus para fabricação de laterais e estantes, pois tais materiais necessitam de maleabilidade durante o uso do pneu pronto.

CONCLUSÃO

A incorporação do negro de fumo nas propriedades da borracha se mostrou um procedimento efetivo para aprimorar as características do material, conforme os testes realizados de peso específico, reometria, módulo, tensão e alongamento. Como resultado das

experiências realizadas, foi possível verificar que a adição de negro de fumo nas formulações auxilia no aumento da resistência do material. Estes aprimoramentos são utilizados em indústrias de pneus para melhoria em performance do produto. Deste modo, os resultados de teste de laboratório demonstraram que a quantidade de negro de fumo incorporado na formulação é um fator determinante para melhorar as propriedades mecânicas da borracha. A determinação da quantidade a ser utilizada pode ser ajustada conforme a aplicação final do material, sendo compostos com maior teor de negro de fumo mais resistentes fisicamente à tração e abrasão, consequentemente aumentado sua durabilidade, além das melhoras nas propriedades ópticas devido à capacidade do negro de fumo absorver a luz UV, ajudando na estabilização da cor e resistência à degradação da luz solar, em contrapartida compostos com menor teor de negro de fumo se apresentam menos resistentes e mais maleáveis.

REFERÊNCIAS

1. Auto Center São Cristóvão. **Pneus**. Disponível em: <<https://www.autocentersaocristovao.com.br/pneus>>. Acesso em: 11 de abril de 2025.
2. BIRLA CARBON (2012 – 2024). Negro de Fumo. Disponível em: <<https://www.birlacarbon.com/pt-br/em-alta/negro-de-fumo-101/>> Acesso em: 11 de abril de 2025.
3. COSTA, B. **Estudo das propriedades estruturais e morfológicas de amostras de negro de fumo**. Universidade Federal de Uberlândia, 2023.
4. DA SILVA, M. J. **Preparação e Caracterização Elétrica do Compósito de Poliuretano/Negro de Fumo**. Universidade Estadual de São Paulo, 2024.
5. FELIPE, L. **Guia definitivo dos pneus: história, inovações e dicas de manutenção**. 2022. Disponível em: <<https://prologapp.com/blog/historia-do-pneu/>>. Acesso em: 11 de abril de 2025.
6. FIESP. **História do Pneu**. Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br/sinpec/sobre-o-sinpec/historia-do-pneu/>> Acesso em: 09 de novembro de 2024.
7. GUERRA, B. B.; FURTADO, C. R. G.; COUTINHO, F. M. B. **Avaliação reológica de elastômeros e suas composições**. Polímeros, v. 14, n. 4, p. 289–294, 2004.
8. MONTEIRO, ALCEU. **Estudo das propriedades reológicas, térmicas e mecânicas do**

compósito poli-3-hidroxitirato (phb)/negro de fumo. Centro de Tecnologia e Geociências, Recife, 2015.

9. PNEUSTORE; **Informações Técnicas de Pneus.** Disponível em:

<<https://www.pneustore.com.br/informacao-tecnica-pneus>>. Acesso em: 11 de abril de 2025.

10. QUATRO RODAS. **Por dentro do processo de fabricação de pneus.** Disponível em: <https://quatorrodas.abril.com.br/especial/por-dentro-do-processo-de-fabricacao-de-pneus/>. Acesso em: 25 de setembro de 2025.

11. REPARAÇÃO AUTOMOTIVA. **Conheça a história do Pneu de borracha.** Disponível em: <<https://reparacaoautomotiva.com.br/2021/05/05/conheca-a-historia-do-pneu-de-borracha/>>. Acesso em: 25 de setembro de 2025.

12. SARON, C. FELISBERTI, M.I. **Influence of Colorants on the Degradation and Stabilization of Polymers.** Química Nova, v. 29, p. 124-128, 2006.

13. SETIC-UFSC. **Borracha.** Disponível em:

<<https://portalvirtuhab.paginas.ufsc.br/borracha/>>. Acesso em: 25 de setembro de 2025.

14. ASTM. **Standard test methods for rubber—Viscosity, stress relaxation, and pre-vulcanization characteristics (Mooney viscometer).** Disponível em: <<https://www.astm.org/d1646-19a.html>>. Acesso em: 14 novembro de 2024.

15. VMC EQUIPOS & LABORATORIOS. **Produtos.** Disponível em:

<<https://www.vmcequilab.com.pe/productos/>>. Acesso em: 02 novembro de 2024.

16. WANG, M.J.; GRAY, C.A.; REZNEK, S.A.; MAHMUD, K.; KUTSOVSKY, Y.

Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, v. 4, New York: John Wiley & Sons. pág. 761– 803, 2003.