



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ANA KEURI FERNANDES

**ESTUDO DA ESTABILIDADE TÉRMICA DE PNEUMÁTICOS UTILIZANDO
TÉCNICAS TERMOANALÍTICAS.**

CARAÚBAS - RN

2014

ANA KEURI FERNANDES

**ESTUDO DA ESTABILIDADE TÉRMICA DE PNEUMÁTICOS UTILIZANDO
TÉCNICAS TERMOANALÍTICAS.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal Rural
do Semi-árido (UFERSA), como exigência
final para obtenção do título de Bacharel
em Ciências e Tecnologia.

Orientador: Daniel Freitas Freire Martins-
UFERSA

Co-orientador: Ana Cláudia de Melo Caldas
Batista - UFERSA

CARAÚBAS - RN

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Campus Caraúbas (BCC)

F363e Fernandes, Ana Keuri.

Estudo da estabilidade térmica de pneumáticos utilizando técnicas
termoanalíticas / Ana Keuri Fernandes - Caraúbas, RN, 2014.
48f. : il.

Orientador(a): Daniel Freitas Freire Martins.
Co-orientador(a): Ana Cláudia de Melo Caldas Batista

Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade
Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Graduação.

1. Técnicas termoanalíticas 2. Polímeros. 3. Degradação térmica
4. Pneus I. Título.

RN/UFERSA/BCC

CDD: 543.26

Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB-15/700

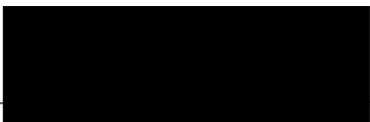
ANA KEURI FERNANDES

**ESTUDO DA ESTABILIDADE TÉRMICA DE PNEUMÁTICOS UTILIZANDO
TÉCNICAS TERMOANALÍTICAS.**

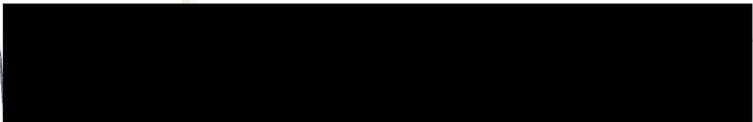
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-árido
(UFERSA), como exigência final para obtenção
do título de Bacharel em Ciências e Tecnologia.

APROVADA EM: 05/08/2014

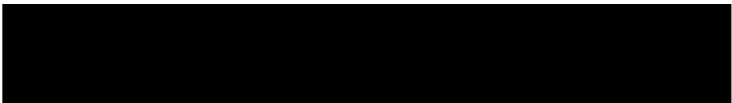
BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Daniel Freitas Freire Martins - UFERSA

Orientador - Presidente


Prof^a. Ms. Ana Claudia de Melo Caldas Batista - UFERSA

Primeiro Membro


Prof^a. Dra. Guymmann Clay da Silva – UFERSA

Segundo Membro

A Maria de Lourdes, minha avó, mulher guerreira, razão por ser o que sou por chegar aonde cheguei. Amo-te incondicionalmente.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus por estar sempre ao meu lado renovando minhas forças não permitindo que eu desistisse.

À minha avó Maria de Lourdes que soube ser avó, mãe e até mesmo pai, pelo seu imenso amor, dedicação e carinho, por me mostrar que mesmo em meio a dificuldades é possível seguir em frente e conquistar o que se deseja. Palavras não são e nunca serão suficientes para demonstrar o meu amor por ti.

À minha mãe Albaniza, que mesmo estando longe sempre me apoiou e acreditou em mim. Obrigado pelos sacrifícios que fez em razão da minha educação. Essa conquista também é sua.

Aos meus irmãos Arthur, Hugo e João Vicente por todo amor e carinho.

Às minhas tias Luzia e Aldeiza, por sempre cuidarem de mim como filha e por me apoiarem em todos os momentos da minha vida. Obrigada por tudo.

Aos meus tios Ricardo e José por acreditarem em meu potencial.

Às minhas primas Kênia, Vitória, Ceci e Mabelly, pela confiança, amor e companheirismo.

Ao meu avô Raimundo, presença paterna em minha vida, por me ensinar que só com muito trabalho conseguimos realizar nossos sonhos.

Ao meu namorado Giovaninny Duarte que sempre esteve ao meu lado. Obrigada por cada carinho seu, pelo respeito, atenção e amizade, por amar meus defeitos e minhas qualidades. Te amo.

Aos meus amigos Alice Andrade, Tayla Silva, Cryslaine Cinthia, Kerolaynny Brenda, Ana Luiza, Hiago Diogo, Moises Diógenes, Hugo Alexandre, Thiago Costa e Eugênio Hercules pelos momentos de descontração e por me mostrarem que os verdadeiros amigos são aqueles presentes em todos os momentos da vida, sejam bons ou ruins. Obrigada por todo carinho, confiança e lealdade.

Ao meu orientador professor Dr. Daniel Freitas Freire Martins pela confiança em meu trabalho e por todo ensinamento. Obrigada pelo comprometimento, dedicação e amizade.

À minha co-orientadora professora Ms. Ana Claudia de Melo Caldas Batista por todos os conselhos e incentivo.

À técnica do laboratório de Química da UFERSA, Campus Caraúbas, Maria Deuzilene Oliveira do Nascimento pela ajuda na utilização dos equipamentos.

À Antônio Alex de Lima Silva pela contribuição na realização de parte das análises.

Ao Professor Dr. Luiz de Souza pela disponibilidade do laboratório (LACAM) e alguns dos equipamentos utilizados neste trabalho.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), por disponibilizar os pneus utilizados na realização deste trabalho.

“A mente que se abre a uma ideia jamais
voltará ao seu tamanho original.”

(Albert Einstein)

RESUMO

Gradativamente, ao longo dos anos, por razões tecnológicas e econômicas, o uso de compósitos poliméricos na indústria automobilística vem se intensificando cada vez mais, ocupando lugar de destaque como materiais mais usados na fabricação de automóveis, principalmente na produção de pneus. Sendo o mesmo considerado como item indispensável no cotidiano da sociedade moderna, é de extrema importância que o pneu esteja em perfeitas condições para sua utilização. Vários fatores podem contribuir para o seu mal funcionamento, entre eles, a temperatura a qual é submetido quando em uso. Por este motivo, o presente trabalho teve como objetivo analisar a estabilidade térmica dos polímeros constituintes da banda de rodagem de pneumáticos utilizando técnicas termoanalíticas. Para tal finalidade foram utilizadas a Análise Termogravimétrica (TG), Termogravimetria Derivada (DTG) e a Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC). Os dados de TG e DTG apresentaram um evento principal de perda de massa com temperaturas de pico máximo que variaram de 427,7 a 432,2°C, referente à degradação do copolímero de butadieno e estireno. As curvas calorimétricas (DSC) indicam três transições endotérmicas principais. Todas elas referentes a uma etapa específica do processo de degradação do polímero constituinte em maior proporção, o SBR. Desta forma, uma maior atenção deve ser dada a essa problemática, principalmente em regiões que atingem, em determinadas épocas, temperaturas mais elevadas, tendo em vista que a degradação precoce de pneumáticos, além de perdas econômicas diretas, podem causar danos ao ambiente através da grande quantidade de resíduos gerados.

Palavras-Chave: Polímeros. Pneus. Degradação térmica. Técnicas termoanalíticas.

ABSTRACT

Progressively, through the years, for technological and economic reasons, the use of polymeric composites in the automotive industry has been increasing more and more standing out as materials most used for the manufacture of cars, especially for the production of tires. Being even considered as essential item in daily of the modern society, it is extremely important that the tire is in perfect shape for use. Many factors can contribute to its malfunction, including, the temperature which is subjected when worn. For this reason, this study aims to analyze the thermal stability of the constituent polymers of the tread pneumatic band using thermoanalytical techniques. For this purpose the Thermogravimetric Analysis (TG), derivative thermogravimetry (DTG) and Differential Scanning Calorimetry (DSC) were used. Information of TG and DTG showed a major mass loss event with highest peak temperatures ranging from 427.7 to 432,2°C referring to the degradation of the copolymer of butadiene and styrene. The calorimetric curves (DSC) indicate three main endothermic transitions. All of them relating to a given step in the degradation of the polymer constituent in a higher proportion case the SBR. Thus, greater attention should be given to this problematic, especially in regions that affect, at particular times, higher temperatures, considering that the early degradation of tires, and direct economic losses, might cause damage to the environment by large amount of waste generated.

Keywords: Polymers. Tires. Thermal Degradation. Thermoanalytical Techniques

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1 - Representação esquemática da unidade repetida e da estrutura da cadeia do polietileno.....	19
Ilustração 2 - Estrutura de um pneu	24
Ilustração 3 - Construção de um pneu.....	25
Ilustração 4 - Obtenção da borracha butadieno-estireno.....	26
Ilustração 5 - Estrutura da obtenção do polibutadieno (BR).....	27
Ilustração 6 - Equipamentos utilizados na realização das análises.....	32
Ilustração 7 – Amostra 1.	33
Ilustração 8 – Amostra 2.	34
Ilustração 9 - Curva Termogravimétrica (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG) do pneu P1_SA.....	37
Ilustração 10 - Curva Termogravimétrica (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG) do pneu P2_SA.	37
Ilustração 11 - Curva Termogravimétrica (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG) do pneu P1_40.	38
Ilustração 12 - Curva Termogravimétrica (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG) do pneu P1_60.	38
Ilustração 13 - Curva Termogravimétrica (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG) do pneu P2_40.	39
Ilustração 14 - Curva Termogravimétrica (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG) do pneu P2_60.	39
Ilustração 15 - Curva de DSC da amostra de pneu P1_SA.....	42
Ilustração 16 - Curva de DSC da amostra de pneu P1_40.	42
Ilustração 17 - Curva de DSC da amostra de pneu P1_60.	43
Ilustração 18 - Curva de DSC da amostra de pneu P2_SA.....	43
Ilustração 19 - Curva de DSC da amostra de pneu P2_40.	44
Ilustração 20 - Curva de DSC da amostra de pneu P2_60.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Polímeros e suas aplicações na indústria automobilística.	22
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens da utilização de polímeros na indústria automobilística	22
Tabela 3 - Propriedades da borracha de Butadieno-Estireno	27
Tabela 4 - Equipamentos utilizados para a realização das análises.....	31
Tabela 5 - Dados referentes aos pneumáticos utilizados nas análises.	33
Tabela 6 – Dados de temperaturas atingidas pelo pneu em uso.	36
Tabela 7 – Dados Termogravimétricos (TG/DTG).	41
Tabela 8 – Dados de Calorimetria Exploratória Diferencial em atmosfera de nitrogênio. ...	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANIP – Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos

BR – Polibutadieno

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DSC – Calorimetria Exploratória Diferencial

DTG – Termogravimetria Derivada

LACAM – Laboratório de Ciências Ambientais e Materiais

MMA – Ministério do Meio Ambiente

PET – Polietilenotereftalato

PVC – Policloreto de Vinila

SBR – Borracha de Butadieno Estireno

TG – Termogravimetria

UERN – Universidade Estadual do Rio Grande do Norte

UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-árido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS	17
3. REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1. POLÍMEROS	18
3.1.1 Classificações dos polímeros.....	19
3.2. APLICAÇÃO	21
3.2.1. Na indústria Automobilística.....	21
3.2.2. Pneumáticos.....	23
3.3. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL	28
3.4. DEGRADAÇÃO TÉRMICA	28
3.5. TÉCNICAS ANALÍTICAS UTILIZADAS	29
3.5.1. Análise Termogravimétrica (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG)	29
3.5.2. Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	30
4. METODOLOGIA	31
4.1. MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1.1 Materiais	31
4.1.2 Métodos	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
6. CONCLUSÃO	46
7. REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

Polímeros são compósitos químicos que apresentam em sua estrutura molecular unidades simples unidas por ligações covalentes que se repetem, chamadas de monômeros (SPINACÉ; PAOLI, 2004). O uso desses compostos vem aumentando gradativamente ao longo dos anos. O mercado mundial de polímeros, mais precisamente dos elastômeros é dominado pela borracha natural e pela borracha sintética. Esse fato pode ser explicado devido à grande variedade de produtos que podem ser fabricados com uso, principalmente, da borracha sintética. Um exemplo prático da aplicação da borracha sintética é sua utilização na indústria automobilística, em especial, na produção de pneus (ROCHA; SOARES; COUTINHO, 2007).

De acordo com a ANIP (2013), a indústria automotiva brasileira obteve uma produção de 68,8 milhões de pneus no ano de 2013, apresentando um aumento de 9,8% com relação a 2012 e batendo o recorde de 2010, que foi cerca de 67,3 milhões de unidades produzidas.

A classe de polímeros mais utilizada na indústria pneumática é a classe dos elastômeros ou borrachas, em especial o copolímero Butadieno-Estireno (SBR). Entretanto, em sua composição, os pneus, de acordo com seu fabricante, apresentam outros materiais, como por exemplo, enxofre, óleos, aditivos, negro de fumo, nylon ou poliéster e alguns aços (MONTEIRO; MATTIOLE; FERREIRA, 2011).

Segundo Werlang, Silveira (2013), os pneus estão presentes em nosso cotidiano há mais de um século, podendo ser considerados indispensáveis para a sociedade moderna. Uma vez que são produzidos com o objetivo de garantir melhor conforto, estabilidade e segurança para seu usuário.

Muitos fatores podem contribuir para o mal funcionamento de um pneu. O uso indevido do veículo e a regulagem do mesmo feita de forma incorreta, por exemplo, podem causar a degradação do pneu e deixá-lo impróprio para uso precocemente. Outro fator que pode influenciar no seu funcionamento é a temperatura o qual o pneu é submetido quando em uso.

Tendo em vista que o Brasil apresenta uma grande variação climática, ou seja, regiões mais quentes do que outras, e que os pneus não são fabricados de acordo com as condições climáticas de cada região, esse fato pode provocar uma variação no grau de degradação dependendo da localidade que o mesmo é utilizado.

A parte do pneu que mais entra em contato com o solo é chamada de banda de rodagem. As temperaturas ambientes junto com a temperatura gerada pelo atrito entre o pneu e o solo podem causar a degradação térmica da borracha constituinte da mesma, provocando a possível emissão de gases poluentes e, conseqüentemente, a necessidade de troca do pneumático de forma prematura.

A vida útil de um pneu é um fator de extrema importância para que haja a redução dessa possível emissão de gases que prejudicam o meio ambiente e a geração de resíduos sólidos. Além desses fatores, as perdas econômicas são conseqüências diretas e que estão associadas à degradação precoce dos pneumáticos de forma geral.

De acordo com a ANIP (2013), foram coletados e destinados de maneira ecologicamente correta mais 183 mil toneladas de pneus inservíveis, ou seja, pneus que não podem mais ser utilizados para circulação, no ano de 2013, quantia essa equivalente a 36,6 milhões de pneus de carros de passeio.

Desta forma, inúmeros estudos foram realizados com relação à degradação de pneus e quais conseqüências poderiam causar ao meio ambiente e a saúde pública quando descartados de forma incorreta na natureza. Entretanto, poucos levam em consideração a possível emissão de gases poluentes oriundos da degradação térmica causada à borracha da banda de rodagem durante o momento que o veículo encontra-se em movimento. Por este motivo, torna-se necessário o conhecimento a respeito da estabilidade térmica dos pneumáticos comercializados a fim de propor soluções para possíveis problemas encontrados.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo analisar a estabilidade térmica dos polímeros utilizados na fabricação da banda de rodagem de pneumáticos do tipo radial convencional utilizando técnicas termoanalíticas.

2.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar a temperatura que um pneu atinge após 10, 20 e 30 minutos de uso a uma velocidade média de 80 km/h;
- Fazer a análise termogravimétrica, a termogravimetria derivada e a calorimetria exploratória diferencial de amostras obtidas da banda de rodagem de um pneumático comercial;
- Submeter as amostras durante 2 horas ao aquecimento em duas temperaturas distintas, 40°C e 60°C;
- Fazer a análise termogravimétrica, a termogravimetria derivada e a calorimetria exploratória diferencial de amostras após serem submetidas ao aquecimento.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. POLÍMEROS

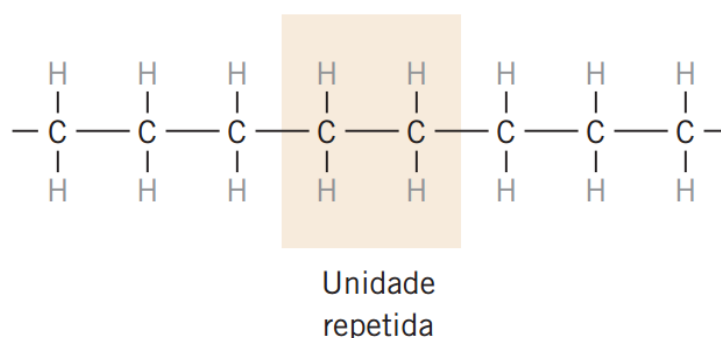
Desde o início dos tempos, o homem através de pesquisas, vem procurando meios de propiciar melhores condições de vida para a população. Uma das descobertas mais interessantes e proveitosas para a humanidade foi a dos polímeros (MANO, 1991).

Segundo Pitt, Boing e Barros (2011) o marco inicial do uso formal de polímeros, veio a partir da descoberta de um verniz extraído da seiva da árvore “*Rhus verniciflua*”, pelos chineses, há aproximadamente 3.000 anos. Porém, estima-se que o conceito de polímeros surgiu apenas no início do século XX. Desde então seu uso vem crescendo gradativamente, podendo-se dizer que, nos dias atuais, os polímeros são considerados indispensáveis para a manutenção da nossa qualidade de vida.

O uso de polímeros na sociedade moderna vem provocado algumas discussões, em especial, à problemática ambiental. Os polímeros são considerados na atualidade os grandes vilões do meio ambiente. Essa imposição se dá em função, principalmente, do longo período que levam para serem degradados, podendo chegar a alguns séculos. Além disso, eles ocupam grande parte do volume de aterros sanitários, interferindo de forma negativa nos processos de compostagem e de estabilização biológica (SPINACÉ; PAOLI, 2005).

Os polímeros são macromoléculas formadas por um elevado número de unidades características que se repetem ao longo da sua estrutura, unidas entre si através de ligações covalentes (Ver Ilustração 1). Para Manrich (2005), a palavra polímero possui origem grega, onde *poli* significa muito e *mero* parte, que se repete. De acordo com Canevarolo Junior (2006), os polímeros são formados por processos de polimerização, que nada mais é do que a reação pela qual os monômeros se unem ou combinam-se, para a formação da cadeia polimérica.

Ilustração 1 - Representação esquemática da unidade repetida e da estrutura da cadeia do polietileno.



Fonte: Adaptado de Callister Júnior e Rethwisch (2013).

3.1.1 Classificações dos polímeros

Há uma grande variedade de materiais poliméricos para os quais existem inúmeras aplicações. Podem ser citados, por exemplo, os plásticos, os elastômeros, as fibras, os revestimentos, os adesivos, as espumas e os filmes (CALLISTER JÚNIOR E RETHWISCH, 2013).

Em função da grande diversidade de estruturas que os polímeros podem apresentar a sua classificação em grupos específicos não existe, podendo haver várias classificações, no entanto, usualmente, os mesmos são inseridos em três grandes grupos, são eles: os polímeros naturais, os semissintéticos e os sintéticos.

A forma de obtenção desses tipos de polímeros é o que os diferenciam. Os polímeros naturais, por exemplo, são aqueles obtidos diretamente da natureza, como por exemplo, a celulose, que é o polímero natural mais abundante já conhecido. Já os polímeros semissintéticos são aqueles obtidos através de reações químicas envolvendo polímeros naturais, como o etanoato de celulose.

Os polímeros sintéticos, diferentemente das outras duas classes, são produzidos diretamente pelo homem através de reações químicas específicas. Exemplos de polímeros sintéticos com uso bastante difundido nas atividades diárias são o policloreto de vinila (PVC), o polietilenotereftalato (PET), o náilon e o poliéster.

Eles podem ainda ser classificados usualmente como elastómeros, termoplásticos e termofixos. Os elastómeros são polímeros que apresentam propriedades elásticas, suportando grandes deformações antes da ruptura. São curados nas etapas de processamento e moldagem e, conseqüentemente, não podem ser fundidos ou remoldados por ação do calor (SANTOS, 2006).

Os polímeros termoplásticos possuem a propriedade de poderem ser amolecidos através da ação combinada de pressão e temperatura. Desta forma, quando resfriados, os polímeros termoplásticos retomam a sua rigidez inicial. Essa característica é importante, pois permite que os mesmos sejam reciclados (FRUET, 2005).

Em contraponto aos polímeros termoplásticos estão os polímeros termofixos. Estes, por sua vez, apresentam rigidez permanente, não amolecendo quando submetidos ao aquecimento.

Os polímeros podem também ser classificados quanto a sua estrutura molecular e a quantidade de meros presentes na sua estrutura (RIELLO NETO, 2005).

a. Classificação quanto à estrutura molecular:

- Polímeros Lineares: consiste nos polímeros que possuem as unidades repetidas unidas entre si de extremidade a extremidade em cadeias únicas, formando longas cadeias flexíveis.
- Polímeros Ramificados: são polímeros onde cadeias de ramificações laterais estão ligadas as cadeias principais.
- Polímeros com Ligações Cruzadas: consiste na junção de cadeias adjacentes unidas umas as outras por ligações covalentes em diversas posições.
- Polímeros em rede: são aqueles que formam redes tridimensionais com três ou mais ligações covalentes.

b. Classificação quanto à Quantidade de Meros:

- Homopolímeros: polímeros que apresentam ao longo de sua cadeia unidades repetidas iguais.
- Copolímeros: polímeros que possuem cadeias compostas por dois ou mais tipos de meros diferentes.

Segundo Riello Neto (2012), os primeiros polímeros sintéticos foram idealizados em 1912, por Leo Baekeland, formados por reações entre fenol e formaldeído. Os mesmos passaram a ser usados em grande escala ao fim da Segunda Guerra Mundial, revolucionando o campo dos materiais, tendo em vista seu baixo custo de produção (CALLISTER JÚNIOR E RETHWISCH, 2013).

3.2. APLICAÇÃO

3.2.1. Na indústria Automobilística

Com o surgimento dos polímeros, muitos materiais tradicionais passaram a ser substituídos, principalmente na produção de automóveis. De acordo com Riello Neto (2012), essa substituição aconteceu ao longo dos anos e de forma gradativa. Entretanto, devido sua produção apresentar baixos custos e uma eficácia considerável, os avanços no segmento em questão tomaram um ritmo bastante acelerado.

Para Hemais (2003), os polímeros vêm apresentando um alto grau de confiança e vantagens sobre os materiais que estão substituindo. Isto porque os mesmos proporcionam diversas formas de projeção, baixo custo de produção, além de apresentar densidade baixa permitindo menor consumo de combustíveis.

Segundo Riello Neto (2012), o painel, para-choques, tapetes, teto, pneus e carrocerias são algumas das partes dos automóveis onde encontramos polímeros. Na Tabela 1, a seguir, estão listados alguns polímeros e suas aplicações na indústria automobilística.

Tabela 1 - Polímeros e suas aplicações na indústria automobilística.

POLÍMERO	APLICAÇÃO
Acrilonitrila-Butadieno-Estireno	Carroceria
Copolímero de butadieno estireno (SBR)	Banda de rodagem
Polipropileno	Para-choques
Polibutadieno (BR)	Banda de rodagem e flancos
Poliisopreno	Laterais e carcaças
Poliisobutadieno	Revestimento interior

Fonte: Adaptada de Menezes (2005).

A substituição de materiais usados tradicionalmente na produção de automóveis por polímeros apresenta várias vantagens e também desvantagens, descritas na Tabela 2. Porém, a principal vantagem é a economia de produção e de combustível.

Com o passar dos anos os usuários de automóveis estão ficando cada vez mais exigentes. Além da procura por carros de alto desempenho, os consumidores procuram maior conforto, segurança, economia e menor agressão ao meio ambiente (HEMAIS 2003).

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens da utilização de polímeros na indústria automobilística

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Redução da emissão de CO ₂	Deterioração por ação térmica e ambiental
Redução de custos	Inflamabilidade
Menores investimentos em manufatura	Baixa resistência ao impacto
Aumento da resistência à corrosão	Deformação permanente elevada
Formatos mais complexos	Dificuldade de adesão de película de tinta
Aumento de segurança	Facilidade de manchar permanentemente
Melhor uso de espaço	Baixa estabilidade dimensional
Veículos mais silenciosos	

Fonte: Adaptada de Riello Neto (2012).

3.2.2. Pneumáticos

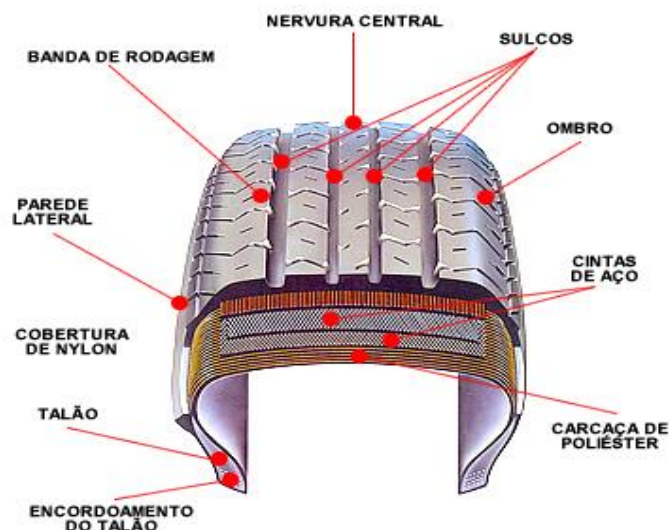
Considerado um item indispensável no cotidiano da sociedade contemporânea, o pneu surgiu em meados do século XIX, quando Charles Goodyear descobriu por acidente que era possível manter a elasticidade da borracha ao elevar sua temperatura com a presença de enxofre. A descoberta permitiu resolver o principal problema da goma de borracha, que era endurecer no frio e derreter no calor (WERLANG; SILVEIRA, 2013).

Segundo a ANIP (2013), os irmãos Michelin foram os primeiros a patentear o pneu para automóvel, isso em 1845. Em 1847, Robert William Thomson inseriu uma bolsa de ar na borracha maciça com objetivo de melhorar as rodas de sua carruagem. Em 1888, quarenta e um anos após o invento de Thomson, o veterinário escocês John Boyd Dunlop fez uma adaptação nos pneus do triciclo do seu filho com uma câmara de ar de borracha flexível, conseguindo, com isso, a patente da roda pneumática. Desde então o pneu foi sofrendo modificações até chegar ao que conhecemos nos dias atuais.

No Brasil a produção de pneus se deu em 1934 com a fundação do Plano Geral de Viação Nacional, que por sua vez concretizou-se apenas em 1936 com a instalação da Companhia Brasileira de Artefatos de Borracha, ou Pneus Brasil, tendo mais de 29 mil pneus fabricados no seu primeiro ano. Nos anos seguintes, fabricantes de vários países passaram a produzir pneus no Brasil, aumentando a produção nacional para 441 mil unidades. Em 1980, o Brasil chegou a produzir 29 milhões de pneus. Nos dias atuais, o país conta com 17 fabricas e 10 produtores, sendo cinco internacionais (ANIP, 2013).

O pneu é responsável pela transmissão da tração do veículo com relação ao solo. O mesmo apresenta em sua estrutura a carcaça, talões, parede lateral, banda de rodagem, cintas, nervura central e ombro (BFCOMPNEUS, 2014). A Ilustração 2 a seguir mostra a estrutura de um pneu.

Ilustração 2 - Estrutura de um pneu



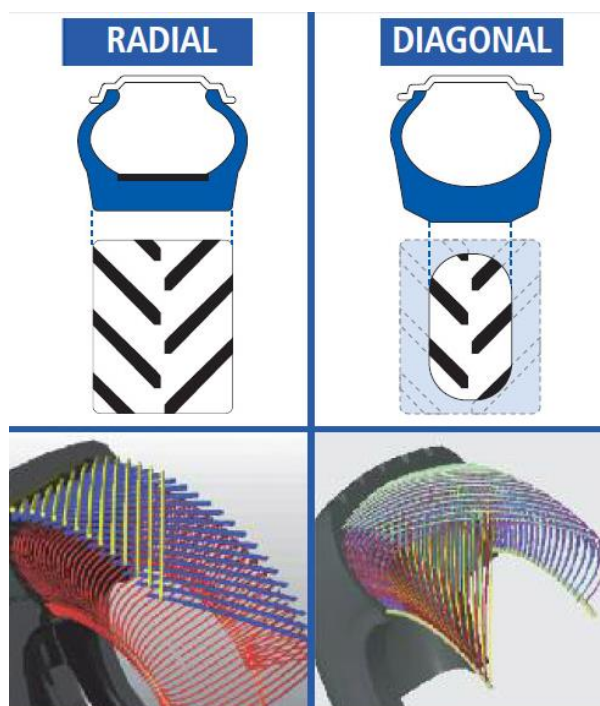
Fonte: Adaptada de Monteiro, Mattiole e Ferreira (2011).

- Carcaça: caracteriza-se pela parte do pneu responsável por resistir à pressão, ao peso e a choques;
- Talões: responsáveis por manter o pneu fixado ao aro da roda;
- Parede lateral: parte lateral da carcaça, revestido por uma mistura de borracha com alta flexibilidade e grande resistência à fadiga;
- Banda de rodagem: parte do pneu que fica em contato direto com o solo. Apresentam partes vazias chamadas de sulcos e partes cheias conhecidas como blocos. Tem como objetivo oferecer tração, aderência, estabilidade e segurança;
- Cintas: trata-se do feixe de lonas estabilizadoras responsáveis por suportar as cargas em movimento, garantindo a área de contato entre o pneu e o solo;
- Ombro: Trata-se do apoio do pneu nas curvas e manobras;
- Nervura Central: responsável por proporcionar o contato circunferencial do pneu com o solo.

Os pneus podem ser construídos de forma radial ou diagonal, como pode ser visto na Ilustração 3. A construção diagonal caracteriza-se pela composição de lonas cruzadas e sobrepostas uma em relação à outra. O pneu com construção radial apresenta fios dispostos em arcos perpendiculares com orientação para o centro do pneu, possuem

maior durabilidade, são mais eficientes nas acelerações e freadas, apresentam maior economia de combustível, e maior aderência. Por essas razões os pneus radiais são os mais utilizados (MICHELIN, 2014).

Ilustração 3 - Construção de um pneu



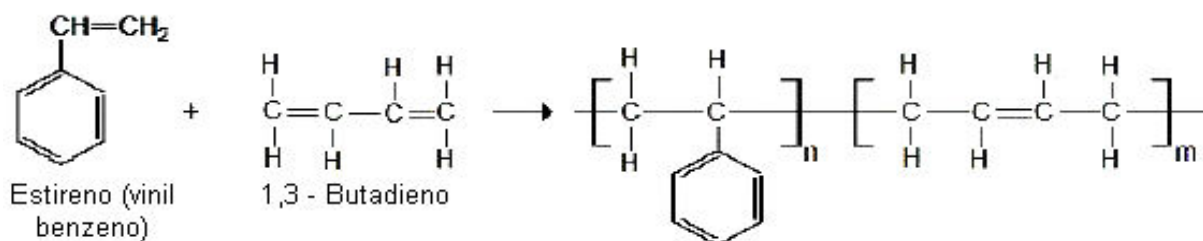
Fonte: Adaptada de <http://www.michelin.com.br/transportes-profissionais-otr/tudo-sobre-agricolas/mais-info/Bons-motivos-para-escolher-o-pneu-Radial>.

Os diferentes tipos de pneus são produzidos com objetivo de garantir maior conforto segurança e estabilidade para os seus usuários e sua composição depende de cada fabricante. Para Monteiro, Mattiole e Ferreira (2011), alguns pneus possuem em sua composição além das borrachas natural e sintética, o negro de fumo, aços, nylon ou poliéster e metais. Porém, essa variedade de materiais torna difícil o descarte de pneus quando os mesmos chegam ao fim de sua vida útil.

Para Rocha, Soares e Coutinho (2007), copolímeros elastômeros são bastante utilizados na indústria automobilística, principalmente elastômeros à base de butadieno, destacando-se entre eles o copolímero butadieno-estireno (SBR) que, por sua vez, apresenta grande importância comercial em decorrência de sua aplicação na produção de pneus, mais precisamente na banda de rodagem. O SBR apresenta como monômeros

de base o estireno e o butadieno. A ilustração 4 mostra a reação principal de formação do copolímero SBR.

Ilustração 4 - Obtenção da borracha butadieno-estireno



Fonte: Adaptada de http://www.ctb.com.pt/?page_id=4319.

A produção de SBR se dá por polimerização em emulsão via radicais livres, podendo ser conduzida a alta ou baixa temperatura, ou por polimerização em solução, via aniônica. A polimerização por emulsão é caracterizada por ocorrer em um meio heterogêneo, composto por água como agente de dispersão, monômero, emulsificante e iniciador. No processo de polimerização a quente a conversão atinge 70%, na polimerização a frio 60%. Esse processo de síntese apresenta como vantagens um melhor controle de temperatura e da viscosidade em meio coloidal, e o cuidado com a ausência de oxigênio, facilitando o controle do processo de síntese. O processo de polimerização por solução caracteriza-se pelo fácil controle da microestrutura e peso molecular do polímero, apresenta um mecanismo de polimerização aniônico, utilizando indicadores constituídos por um composto alquil lítio (ROCHA; SOARES; COUTINHO, 2007).

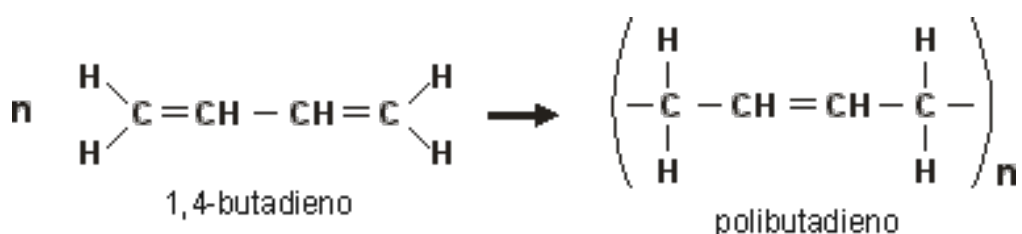
O SBR é um polímero apolar, insaturado e mal condutor de eletricidade. A Tabela 3 mostra algumas propriedades da borracha de butadieno-estireno.

Tabela 3 - Propriedades da borracha de Butadieno-Estireno

PROPRIEDADES	VALOR
Tensão de ruptura, Mpa	7-11
Resistencia ao rasgo	Excelente
Resistência ao impacto	Excelente
Resistência à abrasão	Excelente
Temperatura mínima de serviço (°C)	- 45
Temperatura máxima de serviço (°C)	85
Vida média	3 a 5 anos

Fonte: Adaptado (http://www.ctb.com.pt/?page_id=4319)

Outro polímero sintético bastante utilizado na indústria automobilística é o polibutadieno (BR), sendo 70% de seu uso destinado à produção de pneus. Esse fato ocorre devido suas propriedades, dentre elas, boa resistência à abrasão, à fadiga, baixa resistência ao rolamento e baixo desenvolvimento de calor. O BR pode ser obtido por polimerização em emulsão e polimerização aniônica com aquil lítio fazendo uso do catalizador Ziegler-Natta à base de titânio, níquel, cobalto e neodímio, em processos em solução (FERREIRA JUNIOR, 2009). O polibutadieno apresenta sua estrutura obtida a partir do 1,3-butadieno como mostra a Ilustração 5.

Ilustração 5 - Estrutura da obtenção do polibutadieno (BR).

Fonte: Adaptada de <http://www.reocities.com/Vienna/choir/9201/polimeros.htm>.

3.3. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

A queima de combustível fóssil não é o principal fator que provoca problemas para o meio ambiente. Se por um lado o pneu é visto como parte fundamental do veículo, por outro ele é visto como um vilão quando se fala em preservação da natureza (MENEZES, 2005).

O destino final de pneumáticos inservíveis é um assunto que vem gerando grandes discussões ao longo dos anos. No Brasil, foram produzidos aproximadamente 69 milhões de pneus em 2013, encontrando-se em sétimo lugar no ranking de maiores produtores de pneus do mundo. Mesmo com o avanço da indústria, o país não possui capacidade de armazenamento e de coleta de pneus inservíveis, resultando na disposição inadequada desses pneumáticos e na geração de resíduos sólidos no meio ambiente (PNEUS & CIA, 2014).

Segundo Pneus & Cia (2014), os pneus levam em média 600 anos para sofrer decomposição, e o seu acúmulo representa ameaça de contaminação não só do ar como também do lençol freático e do solo.

De acordo com Menezes (2005), esses pneumáticos além de um problema ambiental, são também de saúde pública, tendo em vista que quando descartados em locais inapropriados servem para a reprodução de mosquitos, como o *Aedes aegypti*, transmissor da dengue e da febre amarela urbana, por exemplo.

Como consequência desses impactos negativos causados pelo descarte incorreto de pneus, foi aprovada em 26 de agosto de 1999, a resolução de nº 258 do CONAMA, que diz que os fabricantes e importadores de pneumáticos tem a obrigação de realizar a coleta e dar destino final de maneira ambientalmente correta a pneus inservíveis (MMA, 2014).

3.4. DEGRADAÇÃO TÉRMICA

Segundo Guastala (2013), degradação é qualquer reação química propiciada por qualquer agente físico ou químico que modifique as propriedades de um material polimérico. Para Menezes (2005), a modificação das propriedades do polímero pode ser percebida devido à perda ou diminuição da massa molar do mesmo envolvendo

despolimerização ou não, seguida da formação de produtos voláteis, dependendo das condições de temperatura as quais o polímero foi submetido.

De acordo com Guastala (2013), a degradação térmica pode acontecer no decorrer do processamento do material, ocorrendo degradação térmica e mecânica, ou durante sua vida útil, ocorrendo, nesse caso, fotodegradação e a biodegradação.

O processo de degradação térmica de pneumáticos está intimamente ligado à problemática ambiental, pois, além dos gases liberados durante o seu uso, o desgaste precoce do mesmo acarretará em uma maior quantidade de resíduos gerados e, conseqüentemente, danos ao ambiente poderão ser causados caso o destino final destes pneus inservíveis não seja adequado.

3.5. TÉCNICAS ANALÍTICAS UTILIZADAS

3.5.1. Análise Termogravimétrica (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG)

A termogravimetria consiste em uma técnica de análise térmica responsável pelo acompanhamento da variação da massa da amostra, ou seja, perda e/ou ganho de massa, resultante de uma transformação física (sublimação, evaporação, condensação) ou química (degradação, decomposição, oxidação) em função do tempo e/ou da temperatura, enquanto a amostra é submetida a uma programação controlada de temperatura (DENARI, 2012; CANEVAROLO JÚNIOR, 2006; MOTHÉ e AZEVEDO, 2009).

Na termogravimetria derivada (DTG), as curvas são registradas a partir das curvas TG e correspondem à derivada primeira da variação da massa em relação ao tempo (dm/dt), que é registrada em função da temperatura ou do tempo, ou ainda, à derivada primeira da variação de massa em relação à temperatura (dm/dT), que é registrada em função da temperatura ou do tempo (CANEVAROLO JÚNIOR, 2006).

3.5.2. Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

A calorimetria exploratória diferencial (DSC) é uma técnica derivada da análise térmica diferencial (DTA). Ela mede a diferença de energia necessária à substância e a um material de referência, inerte de modo térmico, enquanto ambos são submetidos a uma variação controlada de temperatura, de maneira que a amostra e referência sejam mantidas em condições isotérmicas, uma em relação à outra, independente do evento térmico que esteja ocorrendo na amostra (MOTHÉ e AZEVEDO, 2009).

Os instrumentos utilizados nessa técnica são baseados em configurações que podem ser divididas em dois grandes grupos: DSC de fluxo de calor e DSC de compensação de potência.

No primeiro, amostra e referência são colocados em cápsulas idênticas, posicionadas sobre um disco termoeletrico e aquecidas por uma única fonte de calor. O calor é transferido para as cápsulas de amostra e referência por meio do disco, com o fluxo de calor diferencial entre ambas as cápsulas sendo controlado por meio de termopares conectados ao disco, uma vez que ΔT , em um dado momento, é proporcional à variação de entalpia, à capacidade calorífica e a resistência térmica total ao fluxo calórico (CANEVAROLO JÚNIOR, 2006).

Já o DSC de compensação de potência é um calorímetro que mede diretamente a energia envolvida nos eventos térmicos. A amostra e a referência são aquecidas ou resfriadas em fornos separados idênticos. O princípio de funcionamento do equipamento pressupõe que amostra e referência sejam mantidas sempre em condições isotérmicas. Assim, se a amostra sofre alteração de temperatura promovida por um evento endotérmico ou exotérmico, os termopares detectam a diferença de temperatura e o equipamento, automaticamente, modifica a potência de entrada de um dos fornos, de modo a igualar, prontamente, a temperatura de ambos. A diferença entre o calor fornecido à amostra e à referência é registrada em função da temperatura ou do tempo (CANEVAROLO JÚNIOR, 2006).

A DSC pode proporcionar informações sobre caracterização e medidas específicas, tais como: transição vítrea, temperatura e tempo de cristalização, ponto de fusão, calor específico, oxidação, pureza, estabilidade térmica, ponto de ebulição, grau de velocidade de cura, cinética de reação e outras (MOTHÉ e AZEVEDO, 2009).

4. METODOLOGIA

4.1. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo é composto por seções nas quais serão apresentados todos os procedimentos utilizados na realização dos experimentos, incluindo os materiais e equipamentos necessários para tal fim.

4.1.1 Materiais

4.1.1.1 Equipamentos

Os equipamentos utilizados na realização deste trabalho estão listados na Tabela 4 seguidos de sua marca e modelo e mostrados na ilustração 6.

Tabela 4 - Equipamentos utilizados para a realização das análises.

ITEM	EQUIPAMENTO	MARCA / MODELO
1	Balança analítica	SHIMADZU / AUY220
2	Estufa com circulação forçada de ar	SOLAB / SL-102
3	Termômetro Digital Infravermelho	SCAN TEMP / ST-800
4	TG/DTG/DSC	NETZSCH / STA 449 F3 Júpiter

Ilustração 6 - Equipamentos utilizados na realização das análises



Fonte: O autor

4.1.2 Métodos

4.1.2.1. Preparação das amostras

As amostras utilizadas para a realização deste trabalho foram obtidas a partir da banda de rodagem de pneumáticos comerciais em dois diferentes estados de uso, como pode ser observado na Tabela 5 e Ilustrações 6 e 7. Em seguida, ambas as amostras foram trituradas e divididas em três partes, onde uma permaneceu sem aquecimento e duas foram aquecidas durante 2 horas em duas diferentes temperaturas, 40°C e 60°C, para que se pudesse verificar possíveis diferenças na estabilidade térmica do polímero constituinte do pneu após submetidos a condições de aquecimento contínuo. Desta forma, obteve-se 3 amostras de cada pneumático. Feito isso, as amostras foram armazenadas em frascos plásticos para posterior análise.

Tabela 5 - Dados referentes aos pneumáticos utilizados nas análises.

PNEUMÁTICO	AMOSTRA	DESCRIÇÃO	CARACTERÍSTICAS
P1	P1_SA	Amostra 1	Meia vida
	P1_40		
	P1_60		
P2	P2_SA	Amostra 2	Fim da vida útil
	P2_40		
	P2_60		

P1_SA: Pneu 1 sem aquecimento

P2_SA: Pneu 2 sem aquecimento

P1_40: Pneu 1 aquecido a 40°C

P1_60: Pneu 1 aquecido a 60°C

P2_40: Pneu 2 aquecido a 40°C

P2_60: Pneu 2 aquecido a 60°C

Ilustração 7 – Amostra 1.

Fonte: O autor.

Ilustração 8 – Amostra 2.



Fonte: O autor.

4.1.2.2. Análise da Temperatura do pneumático em uso

Inicialmente, foram realizadas análises de temperatura o qual o pneu atinge quando utilizado. Para isso, utilizou-se um automóvel com pneus similares ao utilizado neste trabalho para a obtenção dos dados. O automóvel foi posto em movimento a 80 km/h e a cada 10 minutos foram feitas medidas de temperatura utilizando um termômetro digital de infravermelho.

4.1.2.3. Análise Termogravimétrica (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG)

As curvas termogravimétricas foram obtidas por meio de uma termobalança em atmosfera de nitrogênio, massa da amostra de aproximadamente 5,0 mg, com variação de temperatura de aproximadamente 30°C até 900°C, razão de aquecimento de 20°C min⁻¹ e uma vazão do gás de 20 mL min⁻¹. A DTG foi obtida a partir do software do próprio equipamento através da 1ª derivada da curva termogravimétrica.

4.1.2.4. Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

As análises foram realizadas utilizando uma termobalança em atmosfera de nitrogênio, massa da amostra de aproximadamente 5,0 mg, com variação de temperatura de aproximadamente 30°C até 900°C, razão de aquecimento de 20°C min⁻¹ e uma vazão do gás de 20 mL min⁻¹.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira etapa experimental realizada no presente trabalho teve como objetivo a determinação da temperatura máxima atingida pelo pneu em uso. Na tabela 6 é possível observar todos os resultados obtidos em intervalos de 10 minutos. A partir de sua análise, pode-se constatar que na primeira medição obteve-se a maior temperatura de 44,3°C. A segunda e terceira medição apresentou valores inferiores à primeira, variando em, aproximadamente, 1°C, ou seja, 43,0°C com 20 minutos de uso e 43,3°C para o último tempo. A redução da temperatura, mesmo que pequena, se deve ao fato da mudança brusca de temperatura ambiente que ocorreu no dia da medição em função da ocorrência de precipitação pluviométrica.

Tabela 6 – Dados de temperaturas atingidas pelo pneu em uso.

Medição	Temperatura da banda de rodagem (°C)	Horário da medida	Intervalo de tempo (min)
1	44,3	14h20min	10
2	43,0	14h30min	20
3	43,3	14h40min	30

Todas as amostras foram submetidas à análise termogravimétrica (TG) e à termogravimetria derivada (DTG) e apresentaram um evento principal de perda de massa com temperaturas de pico máximo que variaram de 427,7 a 432,2°C, referente à degradação do copolímero de butadieno e estireno, como pode ser observado na Tabela 7 e Ilustrações 8, 9, 10, 11, 12 e 13. A pequena variação existente entre os valores de temperatura obtidos, provavelmente, se dá em função de diferenças na composição e formas de tratamento das amostras analisadas.

Ilustração 9 - Curva Termogravimétrica (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG) do pneu P1_SA

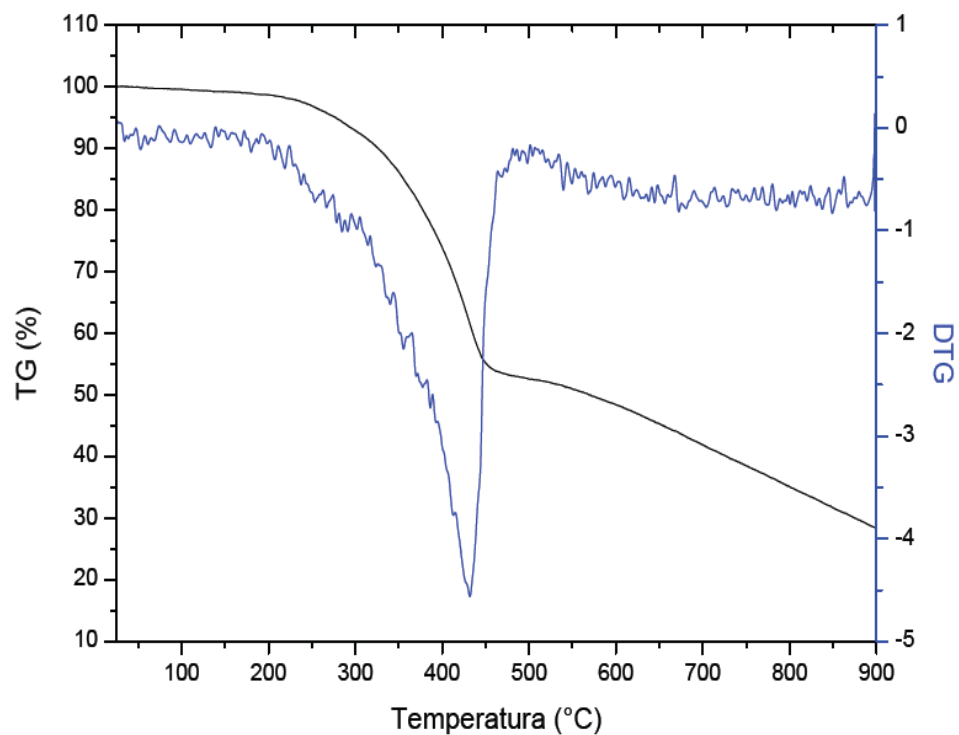


Ilustração 10 - Curva Termogravimétrica (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG) do pneu P2_SA.

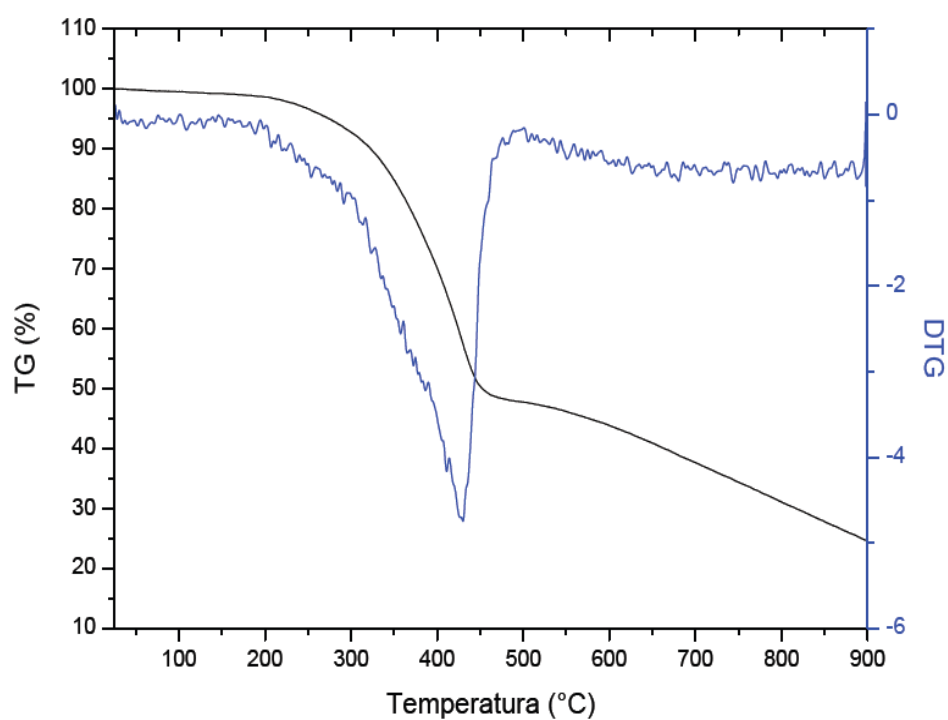


Ilustração 11 - Curva Termogravimétrica (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG) do pneu P1_40.

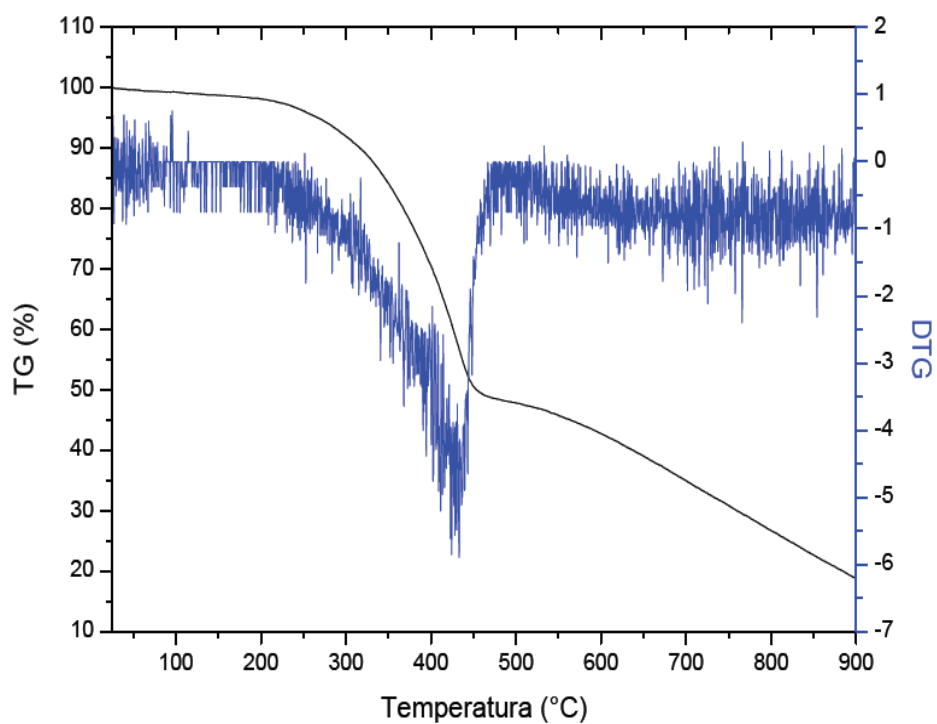


Ilustração 12- Curva Termogravimétrica (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG) do pneu P1_60.

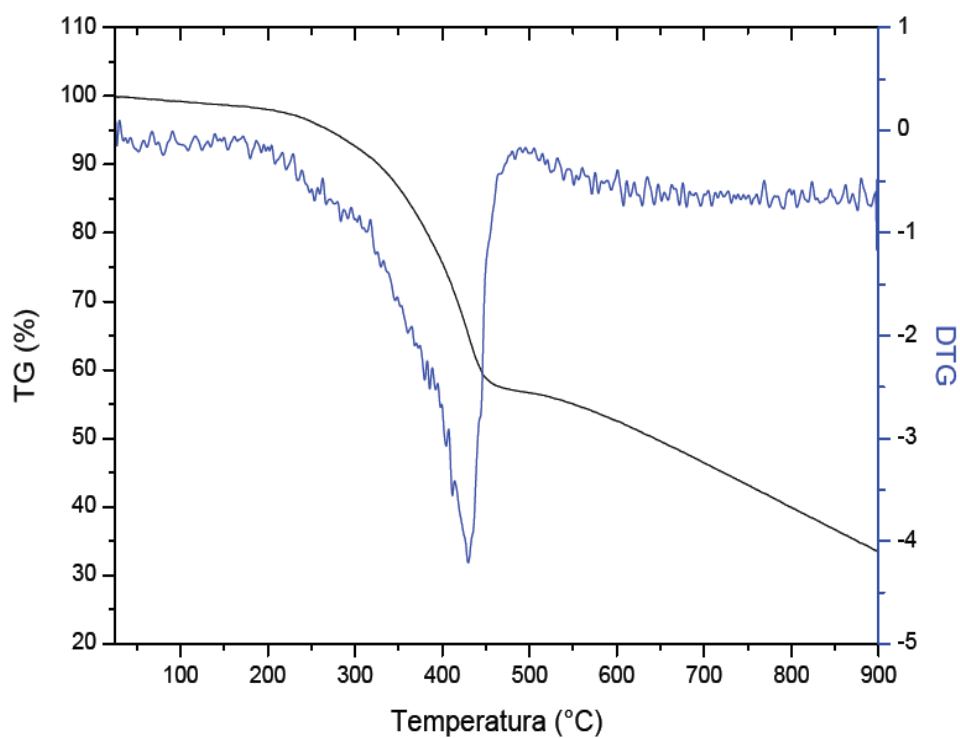


Ilustração 13 - Curva Termogravimétrica (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG) do pneu P2_40.

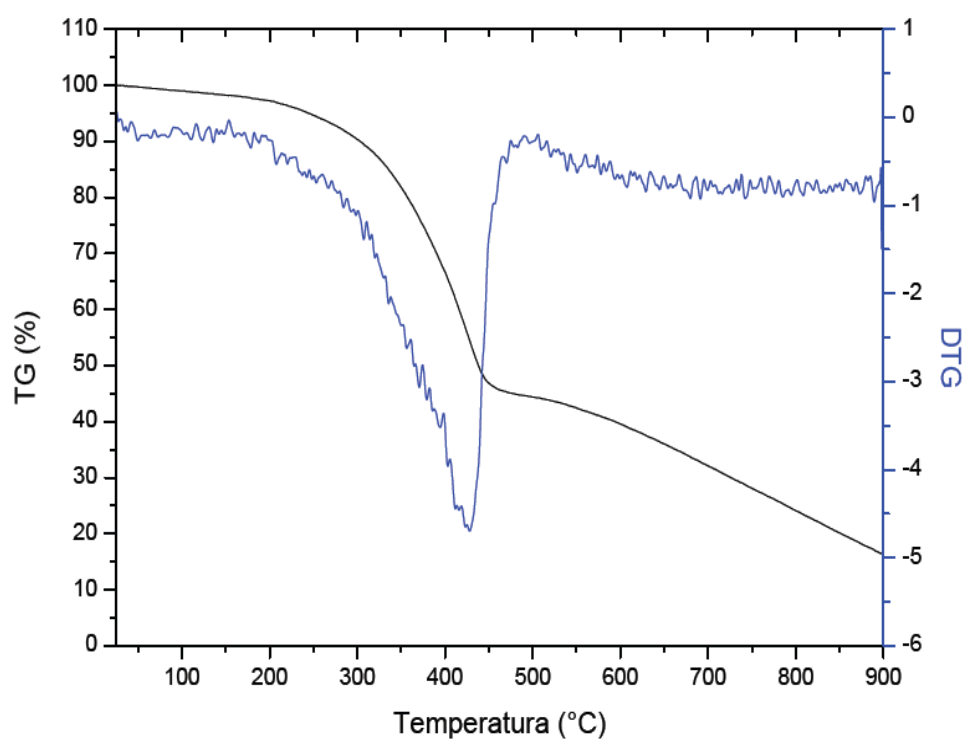
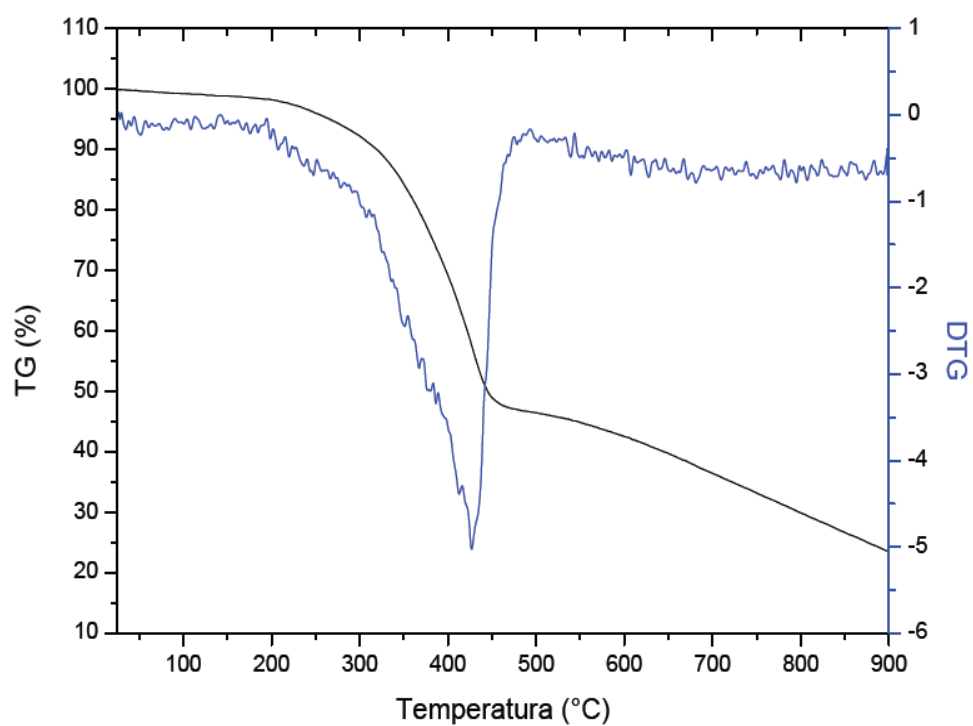


Ilustração 14 - Curva Termogravimétrica (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG) do pneu P2_60.



Gujel *et al.* (2008) também fizeram a análise termogravimétrica do pó de pneu de automóvel e constataram dois eventos de perdas de massa referentes a dois estágios de degradação, o primeiro em 377°C e o segundo em 445°C. Eles estão relacionados, respectivamente, a degradação da borracha natural e do copolímero de butadieno e estireno, ambos constituintes básicos de pneumáticos comerciais.

Ferreira *et al.* (2006) fizeram a análise termogravimétrica de diversos materiais poliméricos, dentre eles, o copolímero de butadieno e estireno puro. Com isso, foi possível observar três etapas de termodecomposição. A primeira, de 150 a 350°C, atribuída a saída de óleos graxos e sabões resinosos em decorrência do método de síntese do copolímero; a segunda etapa, de 350 a 460°C, atribuída a despolimerização das unidades polibutadiênicas; e a terceira etapa, de 460 a 600°C, atribuída à degradação total das unidades de poliestireno.

Segundo Dutra *et al.* (2004), o pico máximo observado no presente trabalho resulta da degradação simultânea do estireno e butadieno. A temperatura do pico máximo depende do teor de estireno presente no SBR, cujo aumento o desloca para temperaturas mais baixas.

Desta forma, pode-se observar que resultados semelhantes foram obtidos no presente trabalho, o que confirma a presença do copolímero como constituinte do pneu analisado.

Apesar da pequena diferença de temperatura, é possível ainda constatar que as amostras que foram submetidas ao aquecimento por 2 horas à 60°C, em atmosfera de ar natural, de ambos os pneus, apresentaram menores percentuais de perdas de massa quando comparadas com as amostras submetidas à 40°C durante o mesmo intervalo de tempo e atmosfera (Ver Tabela 7). Este comportamento pode ser explicado quando se leva em consideração uma possível degradação térmica do pneu quando submetido por um longo período a uma temperatura mais elevada.

O comportamento apresentado pelas amostras sem aquecimento foi diferente das amostras aquecidas à 40 e 60°C. O aquecimento prévio a uma atmosfera oxidante pode causar uma degradação na estrutura polimérica e, conseqüentemente, uma diferenciação da curva termogravimétrica de polímeros que não foram submetidos a tais condições.

Segundo Romão, Spinacé e Paoli (2009), a degradação da estrutura polimérica pode ser iniciada por cisalhamento, calor, presença de oxigênio, resíduos de catalisador, entre outros, conduzindo a degradação mecânica, térmica, química, ou ainda a uma combinação destas. Como exemplo desta combinação tem-se a degradação termo-

oxidativa. Esta, por sua vez, ocorre na presença de calor e oxigênio, causando algumas alterações na composição do material polimérico.

Outro ponto que merece destaque está associado ao resíduo obtido após aquecimento a 900°C em atmosfera de nitrogênio. Segundo Gugel *et al.* (2008), este resíduo corresponde aos demais aditivos utilizados na composição dos pneumáticos, em especial, ao negro de fumo.

Tabela 7 – Dados Termogravimétricos (TG/DTG).

Evento	Propriedades	Amostras					
		P1_SA	P2_SA	P1_40	P1_60	P2_40	P2_60
	Intervalo de temperatura	175-504,3	180,1-510,9	214-483,9	175,6-506,6	164,5-504,3	168,8-502
1	Temperatura do pico (°C)	432,2	429,9	432,2	429,9	427,7	427,7
	Perda de massa (%)	47,3	52,2	51,8	43,5	55,7	53,6
	Massa residual (%)	28,5	24,7	19,1	32,6	16,6	23,7

P1_SA: Pneu 1 sem aquecimento

P2_SA: Pneu 2 sem aquecimento

P1_40: Pneu 1 aquecido a 40°C

P1_60: Pneu 1 aquecido a 60°C

P2_40: Pneu 2 aquecido a 40°C

P2_60: Pneu 2 aquecido a 60°C

Os dados obtidos por calorimetria exploratória diferencial (DSC) confirmam as observações feitas a partir dos dados termogravimétricos (Ver Tabela 8). Como podem ser observadas nas Ilustrações 14, 15, 16, 17, 18 e 19, as curvas calorimétricas indicam três transições endotérmicas principais. Todas elas referentes a uma etapa específica do processo de degradação do polímero constituinte em maior proporção, ou seja, o SBA, dos pneumáticos comerciais assim como foi discutido anteriormente para os dados termogravimétricos.

As variações existentes nas temperaturas de pico para cada evento entre as amostras se devem, muito provavelmente, também, as diferenças existentes na composição e formas de tratamento prévio das amostras.

Ilustração 15 - Curva de DSC da amostra de pneu P1_SA.

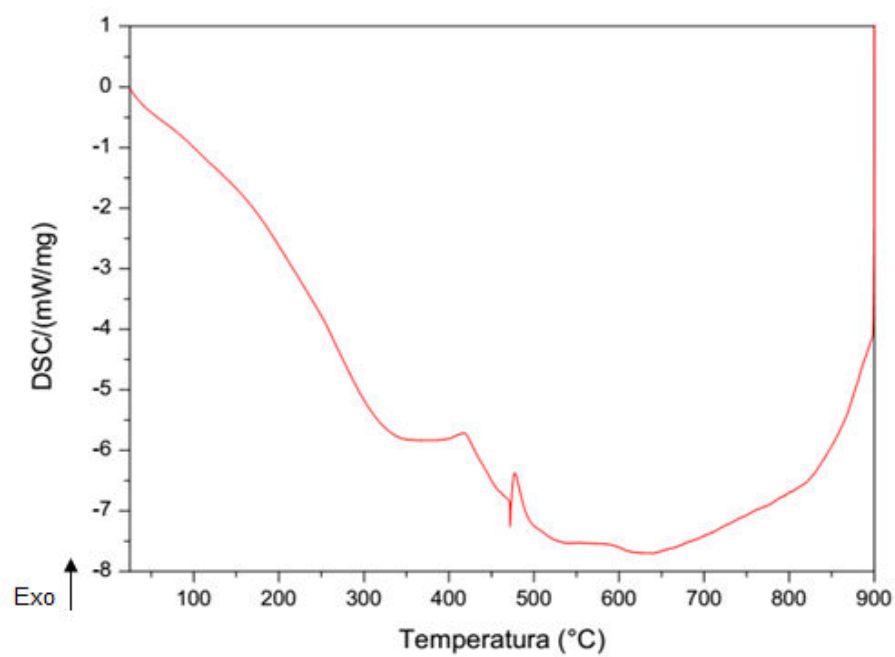


Ilustração 16 - Curva de DSC da amostra de pneu P1_40.

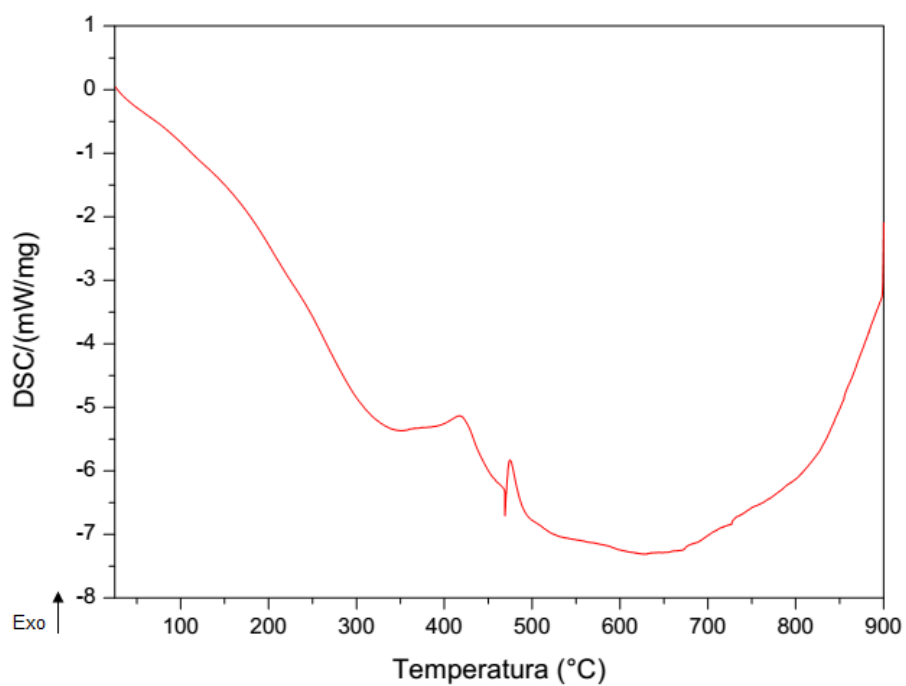


Ilustração 17 - Curva de DSC da amostra de pneu P1_60.

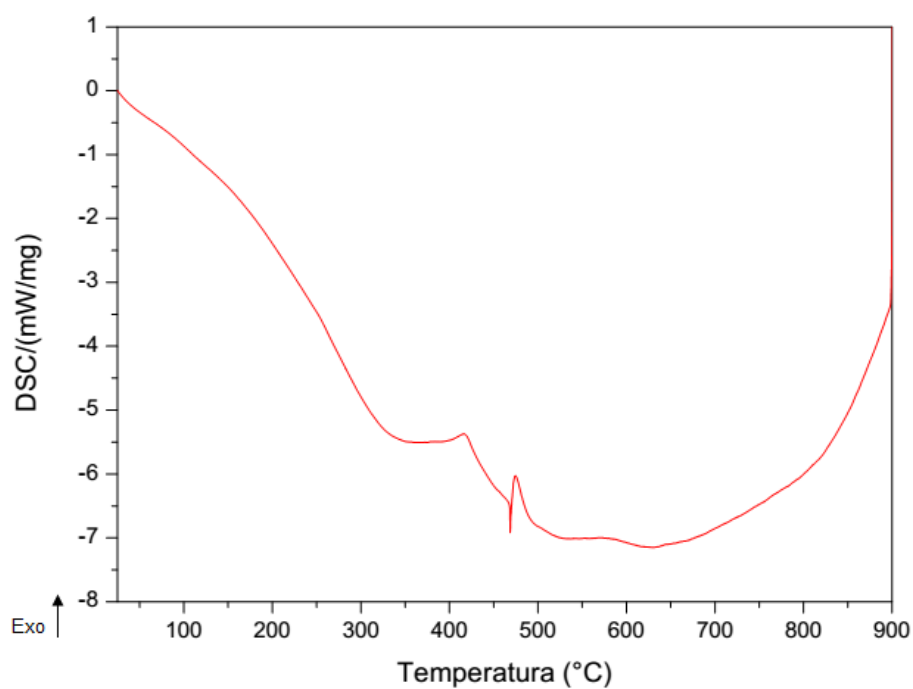


Ilustração 18 - Curva de DSC da amostra de pneu P2_SA.

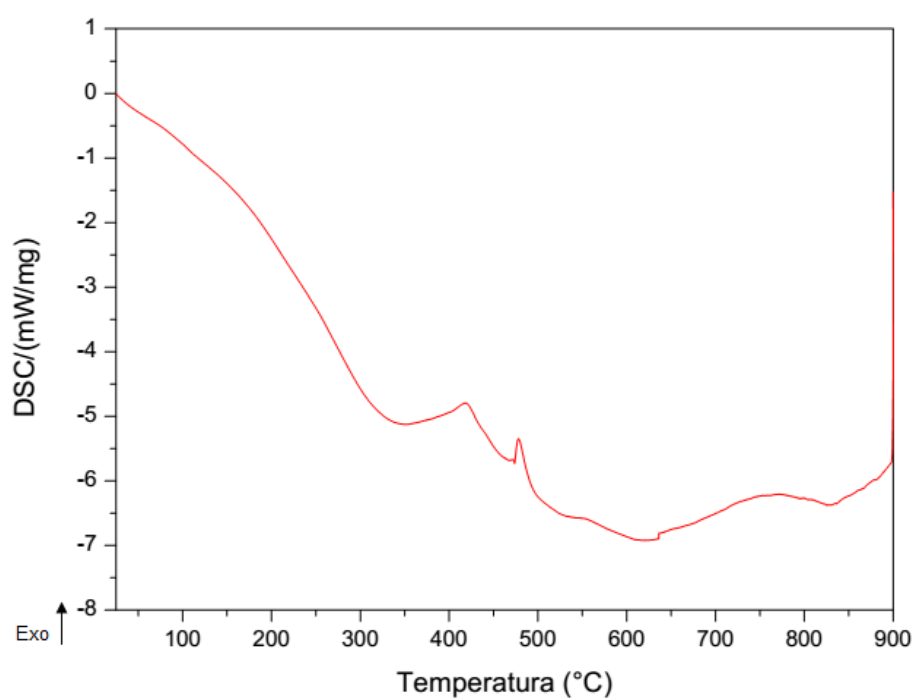


Ilustração 19 - Curva de DSC da amostra de pneu P2_40.

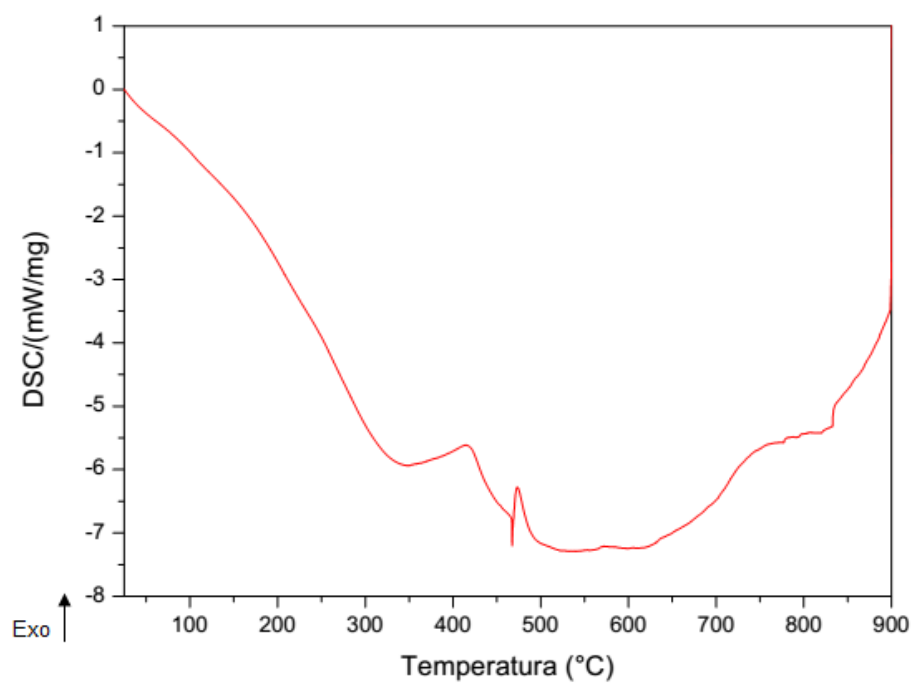


Ilustração 20 - Curva de DSC da amostra de pneu P2_60.

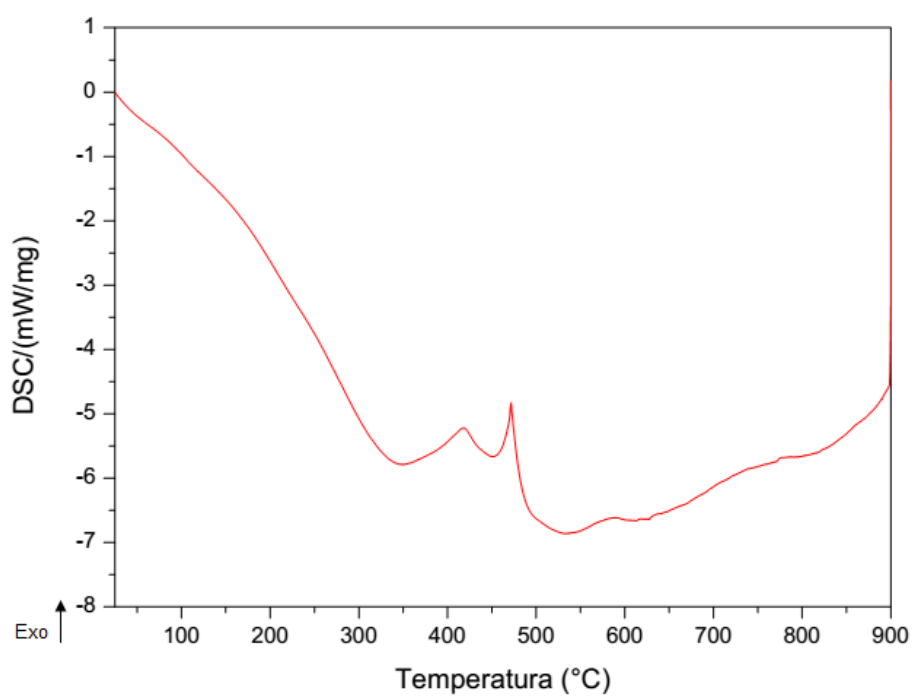


Tabela 8 – Dados de Calorimetria Exploratória Diferencial em atmosfera de nitrogênio.

Eventos	Propriedades	Amostras					
		P1_SA	P2_SA	P1_40	P1_60	P2_40	P2_60
1	Intervalo de temperatura (°C)	29,5-418,9	31,8-418,9	29,5-416,6	31,8-416,6	31,8-414,4	34,0-416,6
	Temperatura de pico (°C)	373,9	353,8	351,5	367,1	351,5	349,2
2	Intervalo de temperatura (°C)	418,9-477,5	418,9-479,7	416,6-475,2	416,6-475,2	414,4-472,9	416,6-470,7
	Temperatura de pico (°C)	470,7	472,9	468,4	468,4	468,4	452,8
3	Intervalo de temperatura (°C)	477,5-893,9	479,7-896,2	475,2-896,2	475,2-896,2	472,9-896,2	470,7-893,9
	Temperatura de pico (°C)	630,6	619,2	628,3	626,0	545,0	536,0

6. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos através da realização de todas as análises propostas pode-se concluir que:

- a. As condições climáticas do ambiente o qual o pneumático é utilizado podem influenciar na temperatura que o mesmo atinge quando está em uso;
- b. As diferenças nas temperaturas máximas de pico na curva termogravimétrica se devem, provavelmente, a diferenças na composição e formas de tratamento do material estudado;
- c. O evento de perda de massa observado na curva de TG e DTG se refere à degradação do copolímero de butadieno e estireno, dados esses que foram confirmados através da curva de DSC o qual foi constatado a presença de três eventos endotérmicos principais que se devem, respectivamente, em ordem crescente de temperatura, a saída de óleos graxos e sabões resinosos em decorrência do método de síntese do copolímero, a despolimerização das unidades polibutadiênicas e à degradação total das unidades de poliestireno;
- d. As diferenças nas curvas de TG, DTG e DSC das amostras submetidas por 2 horas a 40 e 60°C sugerem uma possível degradação do polímero constituinte quando os pneumáticos são submetidos a um aquecimento constante, mesmo que em temperaturas consideradas baixas, como as utilizadas no presente trabalho.

Desta forma, uma maior atenção deve ser dada a essa problemática, principalmente em regiões que atingem, em determinadas épocas, temperaturas mais elevadas, tendo em vista que a degradação precoce de pneumáticos, além de perdas econômicas diretas, podem causar danos ao ambiente através da grande quantidade de resíduos gerados.

7. REFERÊNCIAS

ANIP. **História do pneu**. Disponível em: <<http://www.anip.com.br/?cont=anip>>. Acesso em: 29 jun. 2014.

BFCOMPNEUS. **Partes do pneu**. Disponível em: <http://www.bfcompneus.com.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=158:partes-do-pneu&catid=37:dicas&Itemid=56>. Acesso em: 19 abr. 2014.

CAETANO, Mário J. L. **Borracha de Estireno Butadieno (SBR)**. Disponível em: <http://www.ctb.com.pt/?page_id=4319>. Acesso em: 19 maio 2014.

CALLISTER JUNIOR, William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2013.

CANEVAROLO JUNIOR, Sebastião V. **Ciência dos Polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2006.

CARROS, Pense. **O tipo certo de pneu**. Disponível em: <<http://revista.pensecarros.com.br/especial/sc/editorial-veiculos/capa-interna,613,0,0,0,Pneus.html>>. Acesso em: 19 abr. 2014.

DENARI, G. B.. **Princípios e Aplicações de Análise Térmica**/ org. por Gabriela Bueno Denari e Eder Tadeu Gomes Cavalheiro. São Carlos: IQSC, 2012. 40 p.

DUTRA, Rita C. L. et al. Determinação do teor de NR/SBR em misturas: associação de dados DTG e FT-IR. **Polímeros**, São Carlos, v. 14, n. 5, p.1-8, out./dez., 2004.

FERREIRA JUNIOR, Luís Carlos. **Estudo experimental e simulação de propriedades finais do Polibutadieno Alto-cis produzido por sistemas catalíticos à base de neodímio**. 2009. 169 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia - Coope, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

FERREIRA, Alexandre et al. Comportamento térmico de materiais elastoméricos híbridos condutores. In: X ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E VI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO - UNIVERSIDADE DO VALE DO PARAÍBA, 10., 2006, São José dos Campos. **Anais...** . São José dos Campos: Univap, 2006. p. 325 - 328.

FRUET, Gustavo. **Dissipação de energia em estruturas com utilização de polímeros termoplásticos**. 2005. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

GOMES, Manuel Norato. **Borracha de Butadieno Estireno**. Disponível em: <<http://www.rubberpedia.com/borrachas/borracha-butadieno-estireno.php>>. Acesso em: 22 jul. 2014.

GOMES, Manuel Norato. **Classificação das borrachas**. Disponível em: <<http://www.rubberpedia.com/borrachas/classificacao-borrachas.php>>. Acesso em: 22 jul. 2014.

GUASTALA, Fábio Arielo. **Estudo do efeito da degradação térmica nas propriedades mecânicas de correias transportadoras operando em alta temperatura**. 2013. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Departamento de Análise e seleção de materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

GUJEL, Ângela A. et al. Incorporação do pó de pneu em uma formulação para banda de rodagem de pneu de motocicleta. **Polímeros: Ciência e tecnologia**, Caxias do Sul, v. 18, n. 4, p.320-325, 2008.

HEMAIS, Carlos A. Polímeros e a indústria automobilística. **Polímeros**, São Carlos, v. 13, n. 2, p.1-8, abr./jun., 2003.

MANO, Eloisa Biasotto. **Polímeros como Materiais de Engenharia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1991. 218 p.

MANRICH, Sílvia. **Processamento de termoplásticos**. São Paulo: Artliber, 2005.

MENEZES, Viviane José. **Avaliação das emissões oriundas da degradação térmica de pneus**. 2005. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Polímeros, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

MICHELIN. **Bons motivos para escolher o pneu radial**. Disponível em: <<http://www.michelin.com.br/transportes-profissionais-otr/tudo-sobre-agricolas/mais-info/Bons-motivos-para-escolher-o-pneu-Radial>>. Acesso em: 19 abr. 2014.

MICHELIN. **Tudo sobre o pneu**. Disponível em: <<http://www.michelin.pt/pneus-turismo/conselhos/tudo-sobre-o-pneu>>. Acesso em: 3 jul. 2014.

Ministério do meio ambiente. **Conama**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>>. Acesso em: 20 jul. 2014

MONTEIRO, Márcio Augusto; MATTIOLE, Leonardo Miranda Laborne; FERREIRA, Robson Hilário. **Plano de gerenciamento integrado de resíduos pneumáticos**. 2. ed. Belo Horizonte: Feam: Fundação Israel Pinheiro, 2011. 56 p.

MOTHÉ, Michelle Gonçalves. **Estudo do comportamento de ligantes asfálticos por reologia e análise térmica**. 2009. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

PITT, Fernando Darci; BOING, Denis; BARROS, Antônio André Chivanga. Desenvolvimento histórico, científico e tecnológico de polímeros sintéticos e de fontes renováveis. **Unifebe**, Brusque, v. 11, n. 9, p.1-18, out. 2011.

Reciclanip. **Reciclanip coletou e destinou mais de 183 mil toneladas de pneus inservíveis no primeiro semestre de 2013**. 2013. Disponível em: <<http://rmai.com.br/v4/Read/1619/reciclanip-coletou-e-destinou-mais-de.aspx> revista meio ambiente industrial>. Acesso em: 3 jul. 2014.

REOCITIES. **Polímeros**. Disponível em:
<<http://www.reocities.com/Vienna/choir/9201/polimeros.htm>>. Acesso em: 20 jul. 2014.

RIELLO NETO, Nelson João. **A evolução dos polímeros na indústria automobilística**. 2012. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Polímeros, Faculdade de Tecnologia de Sorocaba, Sorocaba, 2012.

ROCHA, Tereza C. J.; SOARES, Bluma G.; COUTINHO, Fernanda M. B. Principais copolímeros elastômeros à base de butadieno utilizados na indústria automobilística. **Polímeros: Ciência e tecnologia**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 4, p.299-307, 2007.

ROMÃO, Wanderson; SPINACÉ, Márcia A. S.; PAOLI, Marco Aurélio de. Poli (Tereftalato de Etileno), PET: Uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem. **Polímeros: Ciência e tecnologia**, Campinas, v. 19, n. 2, p.121-132, 2009.

SANTOS, Genilson Caldeira dos. **Recuperação de borracha EPDM utilizando EPDM modificado com dodecanotil como agente compatibilizante**. 2006. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SPINACÉ, Márcia Aparecida da Silva; PAOLI, Marco Aurélio de. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, Campinas, v. 28, n. 1, p.65-72, nov. 2005.

TORNELLI, Ana Flávia. Pneus inservíveis: Como retirar do meio ambiente um dos passivos ambientais mais preocupantes da atualidade? **Pneus & Cia.**, Belo Horizonte, v. 6, n. 40, p.14-19, julho/ agosto 2014. Bimestral. Disponível em: <<http://sindipneus.com.br/wordpress/wp-content/uploads/2013/04/Revista-Pneus-Cia.-julho-ago.pdf>> Acesso 20 abr. 2014.

WERLANG, Rafael Brum; SILVEIRA, Fernando Lang da. A física dos pneumáticos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 30, n. 3, p.614-627, set. 2013.

