

Determinação do poder calorífico e análise elementar de pneus automotivos inservíveis

Determination of calorific power and elementary analysis of inservable automotive tires

David Cardoso DOURADO [1](#); Giovanni Francisco RABELO [2](#); Waldir Nagel SCHIRMER [3](#); Erivelton César STROPARO [4](#); Fabrício Ventura BARSÍ [5](#); Paulo Fernando TRUGILHO [6](#)

Recebido: 06/09/2017 • Aprovado: 22/10/2017

Conteúdo

- [1. Introdução](#)
- [2. Materiais e métodos](#)
- [3. Resultados e discussão](#)
- [Referencial bibliográfico](#)

RESUMO:

O presente trabalho objetivou a caracterização das propriedades caloríficas (poder calorífico superior - PCS) e os constituintes elementares (carbono - C, hidrogênio - H, nitrogênio - N, enxofre - S, relação carbono/nitrogênio - C/N e carbono/hidrogênio - C/H) provenientes da queima de cinco distintas marcas de pneus automotivos sem condição de uso. Foi observado que os diferentes pneus apresentaram estatisticamente os mesmos teores médios dos seguintes elementos: carbono (79,50%), hidrogênio (6,77%), enxofre (1,53), a relação C/H (11,76). Quando levado em consideração o local da amostra (banda de rodagem ou flanco do pneu) nos diferentes tipos de pneu, é observada uma interação significativa para o N, relação C/N e o PCS, sendo este último (PCS) com média de 8810 kcal/kg para a banda de rodagem e 8771 kcal/kg para o flanco. **Palavras-chave:** Resíduos sólidos, energia, aproveitamento, borracha

ABSTRACT:

The present work aimed at the characterization of the calorific properties (Higher calorific value - HCV) and the elementary constituents (carbon - C, hydrogen - H, nitrogen - N, sulfur - S, carbon / nitrogen ratio - C/N and carbon / hydrogen - C/H) resulting from the burning of five different brands of automotive tires without condition of use. It was observed that the different tires presented statistically the same average levels of the following elements: Carbon ratio (79,50%), hydrogen (6,77%), sulfur (1,53%), C/H ratio (11,76). When considering the location of the sample (sidewall or tire tread) in the different tire types, a significant interaction is observed for N, C/N ratio and HCV. The latter (HCV) averaging 8810 kcal/kg for the tread and 8771 kcal/kg for the sidewall.

Keywords: Solid waste, energy, recovery, rubber.

1. Introdução

No decorrer da história, as indústrias por meio de suas atividades poluentes geram rejeitos nocivos ao meio ambiente. Estes resíduos gerados originam-se do processo de transformação de insumos e matérias-primas. Sendo assim, temos a indústria como fonte caracterizada pelo desperdício e ineficiência em seus processos produtivos que, conseqüentemente, a torna como potencial geradora de resíduos (FREIRE et al., 2000).

Um dos vários problemas que a humanidade vem enfrentando no início do século XXI é a dificuldade da destinação correta dos resíduos. Dentre estes, podemos citar uma grande quantidade de pneus de aviões, de caminhões e de carros que são descartadas quando os mesmos se tornam inservíveis, ou seja, quando não têm mais condições de serem reformados (KAMIMURA, 2002).

Em 2014 a produção da indústria brasileira de pneus totalizou 68,8 milhões de unidades, tendo pequena redução em comparação a 2013, ano em que foi alcançado o recorde histórico do setor. Nesse mesmo ano de 2014 a meta de destinação de pneus inservíveis estabelecida pelo IBAMA para fabricantes do país e importadores independentes somava cerca de 550 mil toneladas, volume bastante expressivo (IBAMA, 2013). A maior parte do pneu que recebem destinação adequada é usada como combustível alternativo em fábricas de cimento e menos de um terço é transformado em novos produtos, com agregação de valor e geração de emprego e renda. Entre esses produtos estão grama sintética, pisos laminados, solados, tapetes automotivos, asfalto borracha e outros (ANIP, 2015).

No entanto, apesar de ser muito útil desde sua criação, o pneu sempre foi um problema para o meio ambiente (FLORIANI et al., 2016). Por exemplo, a fumaça resultante do processo de queima, contém poluentes que podem afetar o bem-estar físico e psicológico das pessoas (CHEN et al., 2009).

Outro problema está na poluição resultante da decomposição de resíduos de pneus que possui metais pesados como chumbo, cádmio e zinco que vazam para o solo causando um estresse perigoso para o ambiente (HORNER, 1996).

Além dos metais pesados presente nos pneus inservíveis, o mesmo é um material de difícil degradação e o seu descarte ou empilhamento inadequado causam graves impactos ao meio ambiente. Pneus empilhados ficam sujeitos à ocorrência de incêndios, devido a capacidade térmica que possuem, além de serem ambientes propícios para proliferação de vetores transmissores de doenças (SILVA et al., 2017).

Em consequência das problemáticas dos resíduos e das ações predatórias do homem para com o meio ambiente, é que surgiu o conceito de desenvolvimento sustentável na década de 80 através da relação estabelecida entre a preservação ambiental do planeta e o atendimento das necessidades humanas (IUCN, 1980). Este desenvolvimento deve satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações satisfazerem as suas próprias necessidades (WCED, 1987).

Atualmente, a adoção de princípios de sustentabilidade pelas empresas gera um modelo de gestão sustentável que está ligado aos pilares do desenvolvimento sustentável: ecologicamente correto, socialmente justo e economicamente viável (ELKINGTON, 2001). A justificativa teórica para a realização desta investigação está associada as mudanças mundiais que estão fazendo com que a sociedade molde-se para buscar a sustentabilidade através da transformação dos valores humanos, econômicos e sociais com a amplitude do ciclo de vida dos produtos (ELKINGTON, 2001).

É com esse pensamento reformador, que surgem as leis nacionais para fiscalizar a correta destinação dos pneus fora de uso. No Brasil, após a aprovação da Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 258/1999 (CONAMA, 1999) a reciclagem de pneus inservíveis teve um avanço, pois as empresas fabricantes e importadoras de pneus ficaram obrigadas a coletar e dar destinação ambientalmente adequada a esses. Atualmente está em vigor a Resolução CONAMA nº 416/2009 (CONAMA, 2009) que estabelece que para cada pneu novo comercializado para o mercado de reposição, deverá ser destinado adequadamente um

pneu inservível. Esse processo faz parte do Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

O resíduo sólido pode ser definido como "todo o material sólido ou semi-sólido indesejável e necessita ser removido por ter sido considerado inútil por quem o descarta, em qualquer recipiente destinado a este ato" (IBAM, 2007).

De acordo com a Lei Nº12.305/10 (BRASIL, 2010), que instituiu a PNRS, o termo "resíduo classifica-se como material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade [...]". Esta mesma lei, no que tange ao gerenciamento dos resíduos sólidos, responsabiliza o poder público, as empresas e a coletividade pela observância e a aplicabilidade da PNRS através de ações que vão da não geração de resíduos, sua redução, reutilização, reciclagem, tratamento e finalmente a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos produzidos no processo.

O Brasil reciclava somente 10% dos pneus produzidos antes da referida lei ser aprovada. Posteriormente, a aprovação da lei o número de empresas cadastradas para exercer o processo de recolhimento e destruição de pneus cresceu constantemente. Dados de 2010 apresentam que eram 124 empresas cadastradas no IBAMA para a reutilização, reciclagem e valorização energética dos pneus (LAGARINHOS et al., 2013).

Segundo Rodrigues e Henkes (2015), a ideia de reutilização de pneus é muito antiga, mas sua ação se deu somente após a Segunda Guerra Mundial devida a dificuldade na obtenção de matéria-prima para a produção de pneus novos.

As maneiras de reciclagem dos pneus pode ser feita de diversas formas, desde a utilização de sua carcaça até mesmo a trituração para utilização na produção de diversos produtos e materiais. A avaliação dos pneus para destinação correta, passa por uma triagem das carcaças e se estas possuírem condições de serem utilizadas, são encaminhadas a empresas especializadas na recauchutagem, remoldagem ou a recapagem (RESENDE, 2004). Segundo Chan, Chan e Jain (2012), no mercado internacional, os pneus em boas condições são vendidos ou exportados.

Os pneus que não apresentam condições de reutilização são encaminhados a empresas de reciclagem para que sejam triturados e, posteriormente, os materiais formados são destinados de acordo com sua utilização. Conforme afirmam Bertollo e Fernandes Júnior (2002), o processo de reutilização dos pneus inservíveis possui um alto custo devido ao processo de corte e trituração pelo qual é passado a fim de separar e permitir a recuperação de materiais inicialmente utilizados em sua fabricação. A borracha extraída pela trituração dos pneus inservíveis pode ser reaproveitada para a confecção de chinelos, tapetes automotivos, pisos industriais, solas de sapato, borrachas de vedação, quadras esportivas, na composição de asfalto e concreto e também como matriz energética em indústrias cimenteiras (RECICLANIP, 2015).

De maneira paralela, é importante que sejam desenvolvidas técnicas construtivas que diminuam o volume de resíduos de pneus gerados atualmente (PINTO e FIORITI, 2016). E uma das maneiras de reduzir seu volume é estimular a geração de calor e energia elétrica pela queima de pneus inservíveis (ANIP, 2015). Para Dondi et al. (1997) em muitos casos há diferenças no consumo de energia, o que pode ser reduzido devido à contribuição calórica fornecida por muitos tipos de resíduos, como exemplo o resíduo de borracha de pneu, chamados resíduos combustíveis.

Os resíduos de pneus têm sido utilizados como combustível suplementar em fornos de cimento por possuir um alto poder calorífico. A indústria produtora de cimento utiliza nos fornos de clínquer o pneu inteiro ou o pneu triturado dependendo da tecnologia que a empresa possui (RODRIGUEZ, 2016).

Nakajima e Matsuyki (1981) fez estudos sobre a utilização de pneus usados como combustível para produção de cimento, donde encontrou que o enxofre contido nos pneus é absorvido pela matéria prima do cimento e não produzindo o gás de SOx e o aço presente foi transformado em componente do cimento.

No Brasil, os pneus inservíveis estão sendo utilizados desde 2003 como combustível de caldeiras. O consumo médio é de 150 mil pneus usados por mês. O processo utiliza 5% em massa de pneus inservíveis triturados e 95% em massa do bagaço de cana de açúcar, o poder calorífico útil (PCU) da mistura chega em torno de 9 MJ/kg (2150 kcal/kg), gerando vapor de baixa pressão (LAGARINHOS et al., 2013).

Sendo assim esse trabalho veio avaliar as propriedades elementares e as calorificas de pneus automotivos inservíveis no intuito de empregá-lo como fonte de energia.

2. Materiais e métodos

2.1. Amostras

O material analisado foi coletado no eco-ponto dedicado à coleta de pneus automobilísticos inservíveis localizado na BR 262 do município de Lavras-MG. O material foi selecionado levando-se em consideração seu estado de uso, ou seja, pneu que em que sua banda de rodagem encontrava-se indícios aparente de suas nervuras ou frisos, ou seja, pneumáticos que foram descartados obedecendo as normas e padrões de qualidade no limite de uso. Na escolha do material amostral, foi levado em consideração também sua classe pneumática: pneus de passeio. Essa escolha se deu pelo fato dessa classe ser a comumente mais encontrada no mercado.

Em seguida, foram selecionados diferentes aros e bandas de rodagens (165/R13, 175/R13, 175/R14), (vide Tabela 1) que foram amostradas de 3 empresas distintas e categorizadas como: empresa G, empresa P e empresa F. As amostras a serem analisadas foram retiradas de maneira transversal em 3 locais diferentes na banda de rodagem (Figura 1) e nos flancos (Figura 2). Material vindo do mesmo local dentro de cada pneu (banda ou flanco) foi colocado junto e homogeneizado para que deste fosse retirada uma amostra composta para as análises. A ferramenta utilizada para coletar o material (raspa de pneu), foi um serrote de aço inox, com o qual era possível obtermos amostras com granulometria próxima a desejável.

Tabela 1
G-01. 165/70R13

SIGLA	DEFINIÇÃO
G	Marca do pneu
P	Marca do pneu
F	Marca do pneu
BR	Local da amostra - Banda de Rodagem
FL	Local da amostra - Flanco
1	Nº igual identificam o mesmo pneu
165 ou 175	Largura da banda de rodagem (mm)
65 ou 70	Perfil do pneu
R	Pneu tipo radial

Como observado nas figuras, as amostras a serem analisadas foram retiradas de maneira transversal em 3 locais diferentes: na banda de rodagem demonstrada na Figura 1 e nos flancos demonstrado na Figura 2.



Figura 1. Banda de rodagem



Figura 2. Flanco

Na tabela 2, pode ser observada a relação entre tipos de pneus e local da amostra. Para cada tipo de pneu foram retiradas amostras tanto de sua banda de rodagem quanto do seu flanco.

Tabela 2

Tipo de pneu e localização da amostra no mesmo

TIPO DE PNEU	LOCAL DA AMOSTRA
G-fl1. 165/70R13	Flanco
G-br1. 165/70R13	Banda de rodagem
G-fl2. 165/70R13	Flanco
G-br2. 165/70R13	Banda de rodagem
G-fl3. 175/70R13	Flanco
G-br3. 175/70R13	Banda de rodagem
G-fl4. 175/70R13	Flanco
G-br4. 175/70R13	Banda de rodagem
G-fl5. 175/65R14	Flanco
G-br5. 175/65R14	Banda de rodagem
G-fl6. 175/65R14	Flanco

G-br6. 175/65R14	Banda de rodagem
P-fl1. 165/70R13	Flanco
P-br1. 165/70R13	Banda de rodagem
P-fl2. 165/70R13	Flanco
P-br2. 165/70R13	Banda de rodagem
P-fl3. 175/70R13	Flanco
P-br3. 175/70R13	Banda de rodagem
P- fl 4. 175/70R13	Flanco
P-br4. 175/70R13	Banda de rodagem
P-fl5. 175/80R14	Flanco
P-br5. 175/80R14	Banda de rodagem
P-fl6. 175/65R14	Flanco
P-br6. 175/65R14	Banda de rodagem
F-fl1. 165/70R13	Flanco
F-br1. 165/70R13	Banda de rodagem
F-fl2. 165/70R13	Flanco
F-br2. 165/70R13	Banda de rodagem
F-fl3. 175/70R13	Flanco
F-br3. 175/70R13	Banda de rodagem
F-fl4. 175/70R13	Flanco
F-br4. 175/70R13	Banda de rodagem
F-fl5. 175/65R14	Flanco
F-br5. 175/65R14	Banda de rodagem
F-fl6. 175/65R14	Flanco

2.2. Determinação do Poder Calorífico Superior

Os resíduos das raspas de pneu foram peneirados e a alíquota utilizada foi a que passou pela peneira de 40 mesh e ficou retida na de 60 mesh. Após peneiramento, os resíduos foram secos em estufa convencional à temperatura de $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ por 24 horas. Para realização dos ensaios foram retiradas amostras de aproximadamente 0,5 gramas de pneu seco e moído. Logo na sequência essas amostras foram encaminhadas para análise em um calorímetro adiabático e bomba calorimétrica *Parr*®. Para que tais análises fossem rigorosamente experimentadas, empregou-se a Norma 8633 da ABNT (1984).

2.3. Análise Elementar

Utilizou-se a análise elementar e foi determinado o teor de Carbono, Nitrogênio, Hidrogênio, Enxofre e conseqüentemente as relações C/N e C/H .

Os resíduos das raspas de pneu foram peneirados e a alíquota utilizada foi a que passou pela peneira de 40 mesh e ficou retida na de 60 mesh. Após peneiramento, os resíduos foram secos em estufa convencional à temperatura de $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ por 24 horas.

Inicialmente, utilizando uma balança com precisão de 0,05 mg onde foram pesadas aproximadamente 2 mg de resíduo em um porta-amostra de estanho. Em seguida, foi adicionado ao material 2mg de óxido de tungstênio (neutralizador de alôgênio). O conjunto (resíduo + porta amostra) foram depositados no carrossel do equipamento *Elementar Vário Micro Cube*.

A análise foi realizada em uma amostra por vez e em duplicata. Os gases necessários para a operação foram o hélio, que é o gás de arraste, e o oxigênio, gás de ignição.

A temperatura do tubo de combustão, localizado no interior do equipamento, no momento da queda da amostra do carrossel, foi de 1.150°C . Logo após a combustão, os gases foram transportados por arraste para o tubo de redução e dele seguiram para a coluna de detecção. Os elementos foram determinados por meio de um detector de termo-condutividade, em que cada elemento fez sua interação e teve seu pico específico. Um computador contendo um software específico, acoplado ao equipamento, fez o cálculo dessa integração e determinou-se os valores dos elementos em porcentagem.

2.4. Análises estatísticas

Na avaliação das características quantificadas nos pneus utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado disposto em um esquema fatorial 18×2 considerando-se como níveis dos fatores os diferentes tipos e os locais de amostragem com 2 repetições, conforme modelo estatístico apresentado na Eq. 1. Utilizou-se o Teste Scott-Knott a 5% de significância para todas as variáveis analisadas.

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$

Em que: Y_{ijk} é o efeito do i -ésimo nível do fator tipo de pneu ($i = 1, 2, \dots, 18$), no j -ésimo nível do fator local de amostragem no pneu ($j = 1$ e 2) na k -ésima repetição ($k = 1$ e 2); μ é uma constante inerente a todas as observações; τ_i é o efeito do i -ésimo nível do fator tipo de pneu ($i = 1, 2, \dots, 18$), efeito fixo; β_j é o efeito do j -ésimo nível do fator local de amostragem ($j = 1$ e 2), efeito fixo; $(\tau\beta)_{ij}$ é o efeito da interação entre τ_i e β_j , efeito aleatório, e ε_{ijk} é o erro experimental associado à observação Y_{ij} , independente e identicamente distribuído de uma Normal com média zero e variância σ^2 .

Todas as análises estatísticas foram efetuadas utilizando-se o software Sisvar (FERREIRA,

3. Resultados e discussão

A Tabela 3 apresenta o resultado das análises de variância para as características avaliadas nos diferentes pneus. Observa-se que o efeito da interação pneu x local de amostragem foi significativo apenas para o poder calorífico superior, o teor de nitrogênio e a razão carbono/nitrogênio. Efeito significativo da interação indica a existência de dependência entre os fatores pneu e local. Dessa forma, optou-se em fazer o seu desdobramento e avaliação do efeito de tipo de pneu dentro de local e vice-versa. Para as demais características avaliadas não houve efeito significativo da interação, sendo assim procedeu-se a avaliação dos efeitos simples.

Tabela 3
Resumo das análises de variâncias

FV	GL	Quadrado Médio						
		C	H	N	S	C/H	C/N	PCS
Pneu (P)	17	2,794ns	0,118ns	0,008ns	0,018ns	0,248ns	16,394ns	11937,93*
Local (L)	1	0,034ns	0,722*	0,001ns	0,057ns	2,326*	10,503ns	27422,87ns
P*L	17	2,959ns	0,091ns	0,011*	0,025ns	0,291ns	21,760*	74238,39*
Erro	36	1,808	0,081	0,005	0,023	0,334	9,113	12525,24
	CVe	1,69	4,21	5,12	9,92	4,91	5,07	1,27

FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); C: carbono; H: hidrogênio; N: nitrogênio; S: enxofre; C/H: relação carbono/hidrogênio; C/N: relação carbono/nitrogênio; PCS: poder calorífico superior; ns: não significativo a 5% pelo Teste F; *: significativo a 5% pelo Teste F.

Na análise dos efeitos simples observa-se que o efeito dos diferentes tipos de pneus foi significativo apenas para o PCS. Já o efeito do local de amostragem nos pneus foi significativo apenas para o teor de hidrogênio e para a razão C/N. Os coeficientes de variação encontrados foram baixos e refletem a alta precisão do experimento (PIMENTEL-GOMES, 2009).

Na Tabela 4 encontram-se os valores médios, considerando os desdobramentos da interação e avaliação do efeito do tipo de pneu dentro de local de amostragem e vice-versa, com o respectivo teste de comparação múltipla realizado para algumas características avaliadas.

Tabela 4
Valores médios e teste de comparação múltipla realizado para as características avaliadas nos pneus

Local						
Pneu	PCS (kcal/kg)		Nitrogênio (%)		Razão C/N	
	Banda	Flanco	Banda	Flanco	Banda	Flanco

G3	8.455 a A	8.746 b B	1,37 a A	1,45 a A	57,30 a A	54,94 a A
G4	8.457 a A	8.815 b B	1,34 a A	1,39 a A	59,61 a A	55,93 a A
P2	8.461 a A	8.416 a A	1,24 a A	1,30 a A	64,36 a A	61,25 b A
F3	8.607 b A	9.014 c B	1,39 a A	1,34 a A	55,92 a A	59,73 b A
G6	8.656 b A	8.975 c B	1,31 a A	1,38 a A	60,44 a A	56,55 a A
P4	8.663 b A	8.472 a A	1,36 a A	1,22 a A	58,95 a A	64,68 b A
F5	8.678 b A	8.781 b A	1,31 a A	1,27 a A	60,63 a A	62,28 b A
G5	8.711 b A	8.629 a A	1,33 a A	1,32 a A	59,30 a A	61,12 b A
F6	8.776 b A	8.809 b A	1,33 a A	1,25 a A	60,24 a A	63,94 b A
P1	8.800 b A	8.802 b A	1,31 a A	1,38 a A	60,93 a A	57,33 a A
P6	8.901 c A	8.834 b A	1,41 a A	1,29 a A	56,74 a A	61,85 b A
F1	8.959 c A	8.503 a B	1,30 a A	1,39 a A	60,50 a A	57,85 a A
P5	8.998 c A	8.474 a B	1,32 a A	1,38 a A	61,47 a A	57,75 a A
G1	9.039 c A	9.046 c A	1,32 a A	1,31 a A	58,15 a A	61,37 b A
G2	9.069 c A	9.040 c A	1,34 a A	1,37 a A	57,07 a A	57,22 a A
P3	9.088 c A	8.841 b B	1,30 a A	1,25 a A	62,06 a A	63,51 b A
F4	9.109 c A	8.950 c A	1,29 a A	1,61 a A	63,60 a A	50,10 a B
F2	9.147 c A	8.725 b B	1,29 a A	1,38 a A	62,18 a A	58,32 a A

Valores médios seguidos de mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo Teste Scott-Knott ao nível de 5% de significância.

Para o poder calorífico superior observa-se que o desdobramento da interação e avaliação do efeito de tipo de pneu dentro de local de amostragem mostrou que na banda de rodagem, os pneus G3, G4 e P2 apresentaram os menores valores, enquanto os pneus P6, F1, P5, G1, G2, P3, F4 e F2 apresentaram os maiores valores médios. Quanto ao flanco dos pneus, foi observado que em G5, F1, P4, P5 e P2 apresentaram os menores valores médios e os pneus F3, G6, G1, G2 e F4 os maiores.

Isso ocorreu possivelmente devido ao fato que nos locais, banda de rodagem ou flanco, onde são encontrados os maiores poderes caloríficos, são normalmente os locais que apresentam os maiores percentuais de carbono, pois segundo Protásio et al. (2010), avaliando a relação entre os componentes elementares e o poder calorífico superior do carvão vegetal de *Eucalyptus sp.*, encontraram correlação positiva com o teor de carbono.

Já o pneu G2 e os demais pneus que não se encaixaram em uma das situações anteriormente descrita, um dos fatores que pode melhor explicar tal fato está na relação encontrada entre os teores de carbono (C%), hidrogênio (H%) e nitrogênio (N). Segundo Lacava (2000), além dos mecanismos de oxidação do nitrogênio presente no ar atmosférico, outra fonte de NO é através das espécies nitrogenadas contidas no próprio combustível, sendo a quantidade de NO formado dependente não apenas do teor de nitrogênio, mas também da natureza das ligações químicas envolvendo o nitrogênio. Em geral, um composto nitrogenado primário é quebrado em radicais nitrogenados secundários (HCN, CN, NH₂, NH e N).

Outra justificativa para a pequena variação nas propriedades físico-químicas dos pneus, pode estar sustentada nos materiais que os constituem, uma vez que, na fabricação dos pneus são adicionadas cargas brancas (carbonatos, silicatos) que se destinam a melhorar as propriedades mecânicas (também conhecidas como cargas reforçastes). Para baixar o preço do produto e melhorar o comportamento do composto de borracha ao longo do processo produtivo do pneu, é utilizada na sua extrusão, cargas não reforçastes, de enchimento ou de diluição (RUBBERPEDIA, 2011). Outros materiais também são utilizados na confecção dos pneus, tais como: SiO₂; ZnO; Cr; Ni; Pb; Cd; TI; estabilizantes e outros (SOUZA, 2004).

Para o teor de Nitrogênio, observa-se que o desdobramento da interação e avaliação do efeito de tipo de pneu dentro de local de amostragem mostrou que na banda de rodagem e no flanco, o teste de Scott-knott não detectou diferença estatística entre os pneus, com média de 1,33% para a banda de rodagem e 1,35% para o flanco. Para a relação C/N, observa-se que o desdobramento da interação e avaliação do efeito de tipo de pneu dentro de local de amostragem mostrou que na banda de rodagem, o teste de Scott-knott também não detectou diferença estatística entre os pneus, tendo média de 59,97 em sua relação C/N. Observando o desdobramento da interação e avaliação do efeito de tipo de pneu dentro de local de amostragem mostrou que no flanco, as menores relações de C/N encontraram-se nos pneus G3, G4, G6, P1, F1, P5, G2, F4, e F2, fato esse que se explica devido a encontrarmos nos mesmos pneus as maiores porcentagens de Nitrogênio, o oposto ocorreu com os pneus P2, F3, P4, F5, G5, F6, P6, G1 e P3, os quais encontramos uma alta relação C/N e uma baixa porcentagem de Nitrogênio.

O desdobramento da interação e avaliação do efeito de local dentro de tipo de pneu mostrou que somente para os pneus F1, F2, G3, F3, G4, G6, P3 e P5 houve diferença estatística para os locais de amostragem banda e flanco para o poder calorífico superior, no entanto a diferença média entre o poder calorífico da banda de rodagem (8809,66 kcal/kg) e dos flancos (8770,63 kcal/kg) foi de 39,03kcal/kg, valor que pode ser pouco considerado na magnitude do poder calorífico desse material (borracha de pneu).

Segundo alguns autores referenciados o poder calorífico médio de pneus situa-se em torno de 8500 kcal/kg (KIM et al., 1993), 8980 kcal/kg (DEMARINI, 1994), outros demonstram que o poder calorífico do pneu é em torno de 8000 kcal/kg (Environmental Protection Agency). Entretanto, para Ramarad et al. (2015) os pneus têm em sua composição mais de 90% de materiais orgânicos e tem um valor de poder calorífico de 7786 kcal/kg, comparado com o carvão o qual tem um poder calorífico de 4442-6664 kcal/kg (RAMARAD et al., 2015).

Sendo assim, é observado o quão próximo são os valores nesse trabalho encontrado e os valores citados pelos referidos autores mencionados.

O desdobramento da interação e avaliação do efeito de local dentro de tipo de pneu mostrou que somente para o pneu F4 e P4 houve diferença estatística para os locais de amostragem (BR e FL) quanto aos percentuais de Nitrogênio. O maior valor desse elemento (N) foi encontrado em F4, ocorrência justificada pelo fato que nesse referido pneu foi encontrada a menor relação C/N. Essa menor relação se deu ao fato dos elementos carbono e nitrogênio estarem diretamente proporcionados, ou seja, o pneu P4, de menor porcentagem de Nitrogênio em seu flanco, é o mesmo que possui neste mesmo local, a maior relação C/N dentre todos comparados.

O desdobramento da interação e avaliação do efeito de local dentro de tipo de pneu mostrou que, somente para o pneu F4 houve diferença estatística para os locais de amostragem banda e flanco na relação C/N. Ocorrência esta, justificada pelo fato de que neste mesmo pneu foi encontrada maior porcentagem de nitrogênio e conseqüentemente a menor relação C/N para flanco já que os elementos carbono e nitrogênio encontram-se diretamente proporcionados. Na Tabela 5 estão os valores médios de carbono, hidrogênio e enxofre para a relação C/H considerando-se como fator de variação o tipo de pneu (efeito simples).

Tabela 5
Valores médios de carbono, hidrogênio, enxofre e relação carbono/hidrogênio considerando-se como fator de variação o tipo de pneu

Pneu	Carbono	Hidrogênio	Enxofre	C/H
	%			
G2	77,38 a	6,40 a	1,54 a	12,11 a
G6	78,47 a	6,63 a	1,50 a	11,83 a
G1	78,53 a	6,75 a	1,51 a	11,63 a
G4	78,90 a	6,74 a	1,57 a	11,73 a
F3	78,99 a	6,91 a	1,61 a	11,45 a
F5	79,01 a	6,71 a	1,54 a	11,82 a
G3	79,07 a	6,72 a	1,61 a	11,78 a
P1	79,59 a	6,77 a	1,41 a	11,77 a
P4	79,81 a	6,62 a	1,53 a	12,06 a
F1	79,82 a	7,04 a	1,47 a	11,35 a
G5	79,92 a	6,59 a	1,52 a	12,16 a
P3	79,94 a	6,93 a	1,50 a	11,55 a
F6	80,02 a	6,82 a	1,44 a	11,73 a
P2	80,03 a	6,89 a	1,63 a	11,62 a
P6	80,18 a	6,59 a	1,46 a	12,18 a
F2	80,32 a	6,99 a	1,52 a	11,53 a
P5	80,41 a	6,77 a	1,65 a	11,90 a

F4	80,61 a	7,03 a	1,61 a	11,47 a
Média	79,50	6,77	1,53	11,76

C/H: relação carbono/hidrogênio. Valores médios seguidos de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância.

Observa-se que os diferentes pneus não apresentaram diferença estatística para o teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância. Sendo assim, foram avaliadas as seguintes médias para os respectivos elementos: carbono (79,50%), hidrogênio (6,77%) e enxofre (1,53%). Estes valores foram muito próximos dos observados por Goulart (1999), o referido autor encontrou o teor médio de carbono para o pneu em torno de 84,41%, hidrogênio por volta de 7,75% e enxofre 1,3%. A relação carbono/hidrogênio nesse trabalho avaliada foi de 11,76% contra 11% encontrada por Goulart.

Sendo assim, é observada a semelhança entre os valores nesse trabalho encontrado e os valores relatados por outros autores.

Na Tabela 6 encontram-se os valores médios de carbono, hidrogênio, enxofre e a relação C/H em que é considerando como fator de variação o local de amostragem no pneu (efeito simples).

Tabela 6

Valores médios de carbono, hidrogênio, enxofre e relação carbono/hidrogênio considerando-se como fator de variação o local de amostragem nos pneus

Local	Carbono	Hidrogênio		Enxofre	C/H
	%				
Banda	79,50 a	6,67 a		1,51 a	11,58 a
Flanco	79,52 a	6,87 b		1,56 a	11,94 b

C/H: relação carbono/hidrogênio. Valores médios seguidos de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott em nível de 5% de significância.

Observa-se que o teor de carbono foi estatisticamente igual para os dois locais de amostragem nos pneus, o mesmo ocorreu para o teor de enxofre. Já para o teor de hidrogênio, o ombro dos pneus apresentou maior média, bem como maior relação C/H, isso pode ter ocorrido em função da complexidade de elementos dos quais os pneus são formados. A relação carbono/hidrogênio é importante na combustão do hidrogênio em hidrocarbonetos (TURNS, 2013).

Quanto ao elemento enxofre, o mesmo possui um inconveniente, segundo Carvalho e McQuay (2004), para um combustível com presença de enxofre em sua composição elementar, a entalpia de formação é calculada considerando que o carbono, hidrogênio e enxofre, todo do combustível é convertido para CO₂, H₂O e SO₂.

Referencial bibliográfico

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 08633**. Carvão vegetal: determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984.

Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos - ANIP. **Livro branco da indústria de pneus** – uma política industrial para o setor / estudo coordenado por Patricia Vêras Marrone. São Paulo. V.1, p.1-137, 2015.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS (ANIP). [2015]. Disponível em: <<http://www.anip.com.br/>>. Acesso em: 8 jun. 2017.

BERTOLLO, S.A.; FERNANDES JUNIOR, J. L. Benefícios da incorporação de borracha de pneus em pavimentos asfálticos. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária Ambiental, 28., Cancun. **Anais...** Cancun, México: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2002.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) - **Lei nº 12.305, 02 de agosto de 2010**. [2010]. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em; 22 jun. 2015.

BRASIL. Resolução nº 416 de 30 de setembro de 2009. Brasília, DF: **CONAMA, 2009**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 08 jun. 2015.

CARVALHO, J. A. & MCQUAY, M. Q. **Princípios de Combustão Aplicada**. Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 178p, 2004.

CHAN, F.T.S; CHAN, H.K.; JAIN, V.A framework of reverse logistic for the automobile industry. **International Journal of Production Research**, London, UK, v.50, n.5, p. 1318-1331, mar. 2012.

CHEN, C.C. et al. Evaluation of the waste tire resources recovery program and environmental health policy in Taiwan. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Switzerland. v. 6, n. 3, p. 1075-1094, 2009.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução 258 de 26 de agosto de 1999**, <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res25899.html>. Acessado em março de 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução 416 de 30 de setembro de 2009**, <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616>. Acessado em março de 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução Conama nº258, de 26 de agosto de 1999**. [1999]. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=258> > Acesso em: 25 jun. 2017.

DEMARINI, D. M. et al. Mutagenicity end Chemical Analysis of Emissions from the Open Burning of Scraps Rubber Tires. **Environmental Science and Technology**, Easton, n. 28, p.136-141, 1994.

DONDI, M.; MARSIGLI, M; FABRI, B. Recycling of industrial and urban waste in brick production – A Review (Part 2). *Tile & Brick International*, v. 13, nº4, 302-308p, 1997.

ELKINGTON, J. Canibais com garfo e faca. São Paulo: **Makron Books**, 2001.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Científica Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36-41, 2008.

FLORIANI, M.A.; FURLANETTO, V. C.; SEHNEM, S. Descarte sustentável de pneus inservíveis. **Revista Navus**. Florianópolis/SC. v.6, n.2, p.37-51, 2016.

FREIRE, R. S. et al. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Química Nova**, São Paulo, SP, v. 23, n. 4, p. 504-511, 2000.

GOULART, E. A. Reciclagem energética de pneus automotivos em reator de leito fluidizado: uma proposta para a questão ambiental. 1999. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

HORNER, J.M. Environmental health implications of heavy metal pollution from car tires.Rev. **Environ. Health**, London, UK, n. 11, p.175-178, 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM). **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS (IBAMA). **Relatório pneumáticos 2013**. [2013]. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/.../4?...9649%3Arelatoriopneumaticos-2013>>.

Acesso em: 8 jun. 2017.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE AND NATURAL RESOURCES (IUCN). The World Conservation Strategy: **Living Resource Conservation for Sustainable Development**. Gland. Switzerland: IUCN-UNEP-WWF, 1980.

KAMIMURA, E. Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil. 2002. 127 f. **Dissertação de Mestrado** – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós - Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2002.

KIM, J. R.; LEE, J. S.; KIM, S. D. Combustion Characteristics of Shredded Waste Tires in Fluidized Bed. **Energy**, Korea, v. 19, n. 8, p. 845-854, 1993.

LACAVA, P. T. Investigação experimental do enriquecimento do ar na incineração de resíduos aquosos. 2000. 268 f. **Tese** (Doutorado em Engenharia Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2000.

LAGARINHOS, C. A F.; TENÓRIO, J. A S. & ESPINOSA, D. C. R. A evolução da logística reversa dos pneus no Brasil após a aprovação da resolução CONAMA N 416/09. **Congresso Brasileiro de Polímeros**, 12. , São Paulo-Brasil. p. 1-6. 2013.

NAKAJIMA, N.; MATSUYUKI, M. Utilization of waste tires as fuel for cement production. *Conservation and Recycling*, v. 4, n. 3, p. 145-151, 1981.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ. 451 p, 2009.

PINTO, N, A.; FIORITI, C. F. Avaliação de argamassas mistas de revestimento produzidas com borracha de pneus. **Revista Tecno-lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 20, n. 2, p. 103-110, 2016.

PROTÁSIO, T. P. et al. Aproveitamento e caracterização de resíduos da biomassa agrícola e florestal visando a produção de energia. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA E BIOTECH FAIR, 5., 2010, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Centro de Eventos FIEP, 2010. CD-ROM.

RAMARAD, S., et al. Waste tire rubber in polymer blends: A review on the evolution, properties and future. **Progress in Materials Science**, v. 72, p. 100-140, 2015.

RECICLANIP. **Informações da destinação de pneus inservíveis**. [2015]. Disponível em: <<https://www.reciclanip.org.br/v3/>>. Acesso em: 8 juN. 2017.

RESENDE, E. **Canal de Distribuição Reverso na Reciclagem de Pneus**: Estudo de Caso. [2004]. Disponível em: <http://www.nima.puc-rio.br/cursos/pdf/031_eduardo.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2017.

RODRIGUES, C. M.; HENKES, J. A. Reciclagem de pneus: atitude ambiental aliada à estratégia econômica. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, SC, v. 4, n. 1, p. 448-473, abr./set. 2015.

RODRIGUEZ, G. A. A. Estudo da combustão do óleo pirolítico de pneus. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá. 163 f, 2016.

RUBBERPEDIA. **Cargas brancas**. Disponível em: <<http://www.rubberpedia.com/cargas-brancas.php>>. Acesso em: 12 jan. 2011.

SILVA, F. M.; VAZ, V.V.; GACHET-BARBOSA, L.A.; LINTZ, R.C.C. Avaliação da resistência mecânica de pisos intertravados de concreto sustentáveis (PICS). **Revista Matéria**, v.22, n.1, 2017.

SOUZA, F. A. **Utilização de pneus pós-consumo como combustível em fornos de cimento**. RRESOTEC. 2004.

URNS, S. R. Introdução à Combustão: Conceitos e aplicações. 3. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013. 404p.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (WCED). Our common Future.

1. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - davidourado@unifesspa.edu.br
 2. Universidade Federal de Lavras
 3. Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná
 4. Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná
 5. Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná
 6. Universidade Federal de Lavras
-

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015
Vol. 39 (Nº 04) Año 2018

[Índice]

[No caso de você encontrar quaisquer erros neste site, por favor envie e-mail para [webmaster](#)]

©2018. revistaESPACIOS.com • Derechos Reservados