



DAVID CARDOSO DOURADO

**PODER CALORÍFICO E ANÁLISE
ELEMENTAR DE PNEUS AUTOMOBILÍSTICOS
INSERVÍVEIS E DE FRUTOS DA MACAUBEIRA**

LAVRAS - MG

2011

DAVID CARDOSO DOURADO

**PODER CALORÍFICO E ANÁLISE ELEMENTAR DE PNEUS
AUTOMOBILÍSTICOS INSERVÍVEIS E DE FRUTOS DA
MACAUBEIRA**

Dissertação apresentada á Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Mecanização e Automação Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Giovanni Francisco Rabelo

Coorientador

Dr. Paulo Fernando Trugilho

LAVRAS - MG

2011

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Dourado, David Cardoso.
Poder calorífico e análise elementar de pneus automobilísticos
inservíveis e de frutos da macaubeira / David Cardoso Dourado. –
Lavras : UFLA, 2011.
84 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.
Orientador: Giovanni Francisco Rabelo.
Bibliografia.

1. Resíduos. 2. Poder calorífico. 3. Análise elementar. 4.
Macaúba. 5. Pneu. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 662.87

DAVID CARDOSO DOURADO

**PODER CALORÍFICO E ANÁLISE ELEMENTAR DE PNEUS
AUTOMOBILÍSTICOS INSERVÍVEIS E DE FRUTOS DA
MACAUBEIRA**

Dissertação apresentada á Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Mecanização e Automação Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 05 de agosto de 2011.

Dr. Paulo Fernando Trugilho	UFLA
Dr. Pedro Castro Neto	UFLA

Dr. Giovanni Francisco Rabelo
Orientador

LAVRAS - MG
2011

DEDICATÓRIA

Dedico esta Dissertação a minha esposa por sua paciência, credibilidade e companheirismo, ao meu tio Padre Cardoso, que nunca deixou de acreditar no meu potencial. A minha mãe, Noêmia Alves Dourado a meu pai Tenivaldo Cardoso Dourado e a todos os meus irmãos.

Aos meus orientadores Giovanni Francisco Rabelo e Paulo Fernando Trugilho que acreditaram e me apoiaram a todo tempo em meu trabalho.

A todos os meus familiares que, de certa maneira, contribuíram para esta conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado força e saúde para conseguir superar todas as dificuldades encontradas em minha Pós graduação.

Agradeço também a minha esposa Daniela Alves Pereira por ter acreditado e me apoiado, mesmo com dificuldades, nessa jornada de trabalhos e pesquisas desta dissertação, ao meu Tio Padre Cardoso ao qual sou eternamente grato, aos meus professores orientadores Giovanni Francisco Rabelo e Paulo Fernando Trugilho.

Agradeço em especial os amigos Thiago de Paula Protásio e Allan Motta Couto pela colaboração durante a fase experimental.

Agradeço a Universidade Federal de Lavras – UFLA por todo apoio dado, ao Departamento de Engenharia–DEG.

Ao CNPq pelo financiamento desse projeto.

À FAPEMIG, FINEP, e Prefeitura Municipal de Lavras por ceder via eco-ponto, parte do material utilizado nesse trabalho.

Ao Setor de Energia Florestal e de Ciência e Tecnologia da Madeira do Departamento de Ciências Florestais da UFLA, ao Laboratório de Óleos Gorduras e Biodiesel, aos companheiros e funcionários do CEDIA e a todos aqueles que de maneira direta ou indireta contribuíram com o trabalho, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

É certo que o sistema de produção industrial mundial gera muito resíduo os quais em grande parte, são lançados no meio ambiente. Entretanto, muitos deles podem se prestar para geração de energia ou outras aplicações. Esse é o caso da indústria de borracha aplicada à produção de rodados de veículos automotores. Não menos importante, desponta como potencial de aproveitamento de resíduos os subprodutos da cadeia produtiva do biodiesel, especificamente os resíduos da extração de óleo do fruto da macaubeira. Entretanto, para que se otimize a utilização de tais resíduos como fonte de energia, é necessário conhecer suas propriedades físico-químicas e térmicas. Nesse contexto, o presente trabalho objetivou a caracterização das propriedades caloríficas (poder calorífico superior) e os constituintes elementares (carbono, hidrogênio, nitrogênio, enxofre, relação C/N, relação C/H) provenientes da queima de pneus automobilísticos inservível sendo o mesmo procedimento adotado para os subprodutos da macaúba (epicarpo, mesocarpo, endocarpo e torta) como resíduos da produção do Biodiesel. Os pneus de vários fabricantes, não apresentaram diferenças estatisticamente significativas para teor de carbono (em média 79,50%), hidrogênio (6,77%), enxofre (1,53%), e a relação carbono/hidrogênio (11,76) e 59,97 para a relação carbono/nitrogênio. Para o teor de Nitrogênio não foram encontradas diferenças significativas, sendo a média de (1,3255%) para a banda de rodagem e (1,3488%) para o flanco. Quanto ao poder calorífico foram encontrados os valores de (8810 kcal/kg) para a banda de rodagem e (8771 kcal/kg) para os flancos. Quanto ao fruto da macaubeira, foi encontrado poder calorífico médio de suas partes (epicarpo, mesocarpo, endocarpo e torta) em torno de 4900 Kcal/kg. Contatou-se também que as diferentes regiões do fruto apresentaram o mesmo teor de carbono elementar (em média 47,66%). Quanto ao enxofre, foram encontradas as seguintes proporções: epicarpo (0,183%), torta (0,188%), endocarpo (0,097%) e mesocarpo (0,376%). Comparando-se o valor médio dos subprodutos dos frutos da macaubeira com pneu, aquela apresentou valores 7,3 menores de quantidade média de enxofre do que estes, ou seja, (0,211%) contra (1,54%).

Palavras-chave: Resíduos. Poder calorífico. Análise elementar. Macaúba. Pneu.

ABSTRACT

It is true that the world industrial production generates a lot of waste in large part, are released into the environment. However, many of them can provide for power generation or other applications. This is the case of the rubber industry applied to the production of tire for automotive vehicles. No less important, emerging as potential recovery of waste by-products from biodiesel production chain, specifically the residues of oil extraction from the fruit of macaubeira. However, in order to optimize the use of such waste as an energy source, it is necessary to know its physico-chemical composition and calorific value. In this context, this study aimed to characterize the calorific properties (calorific value) and the elementary constituents (carbon, hydrogen, nitrogen, sulfur, C/N ratio, the C/H ratio) from the combustion of waste tires. The same procedure was applied to sub products of macaúba (epicarp, mesocarp, endocarp and pie) utilized in biodiesel production. The waste tires of different manufacturers showed no statistically significant differences for carbon content (average 79.50%), hydrogen (6.77%), sulfur (1.53%), and the carbon/hydrogen ratio (11.76) and 59.97 for the carbon/nitrogen ratio . For nitrogen content there was no significant differences, and the average (1.3255%) for the tread and (1.3488%) to the flank. The calorific value were found as (8810 kcal/kg) for the tread and (8771 kcal/kg) for flanks. In what the result for macaubeira fruit is concerned, it was observed the calorific value of each parte (epicarp, mesocarp, endocarp and cake) around 4900 kcal/kg. It was also noted that the different regions of the fruit had the same amount of elemental carbon (average = 47.66%). The sulfur content, were found in the following proportions: epicarp (0.183%), pie (0.188%), endocarp (0.097%) and mesocarp (0.376%). Comparing the average value of the sub products of macaubeira fruit against tire, that one presented values less than 7.3 times of sulfur than the last one, ie (0.211%) against (1.54%).

Keywords: Waste. Calorific value. Elemental analysis. Macauba. Tire.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Borracha vulcanizada.....	18
Figura 2	Classificação geral dos polímeros.....	21
Figura 3	Estrutura do poliestireno.....	21
Figura 4	Isômeros da borracha natural.....	22
Figura 5	Estrutura da borracha estireno-butadieno.....	23
Figura 6	Estrutura do polibutadieno.....	23
Figura 7	Tipos de pneu (A- diagonal, B- radial).....	25
Figura 8	Índice de velocidade de um pneu.....	30
Figura 9	A B aterro sanitário na cidade de Campo Belo – MG.....	35
Figura 10	A B eco-ponto na cidade de Lavras – MG.....	35
Figura 11	Passivo ambiental.....	39
Figura 12	Macaubeira com seus frutos.....	48
Figura 13	Banda de rodagem do pneu.....	58
Figura 14	Flanco do pneu.....	58
Figura 15	Amostras: (A epicarpo; B mesocarpo; C endocarpo e D torta)	60
Figura 16	Cachos de macaúba com seus frutos.....	61
Figura 17	A: Bomba calorimétrica; C: conjunto calorímetro.....	62
Figura 18	A: mesa vibratória com jogo de peneiras; B: balança de precisão; C: Analisador Elementar Vario Micro Cube.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Índice de carga.....	31
Tabela 2	Tempo de degradação dos materiais.....	34
Tabela 3	Composição típica de pneu.....	34
Tabela 4	Razões numéricas de pneumáticas no Brasil (unidade de pneu).....	36
Tabela 5	Produção pneumática por categoria segue também os seguintes números observados na tabela abaixo.....	37
Tabela 6	Venda de pneumáticos por categoria.....	38
Tabela 7	Análise elementar de fragmentos de Pneu.....	41
Tabela 8	Características dos endocarpos de babaçu e macaúba, comparado com a madeira de Eucalyptus grandis e seus respectivos rendimentos gravimétricos (%) na produção de carvão (500°C).....	55
Tabela 9	Tipo de pneu e localização da amostra no mesmo.....	59
Tabela 10	Resumo das análises de variâncias.....	65
Tabela 11	Valores médios e teste de comparação múltipla realizado para as características avaliadas nos pneus.....	66
Tabela 12	Valores médios de carbono, hidrogênio, oxigênio e enxofre e relação carbono/hidrogênio considerando-se como fator de variação o tipo de pneu.....	70
Tabela 13	Valores médios de carbono, hidrogênio, oxigênio e enxofre e relação carbono/hidrogênio considerando-se como fator de variação o local de amostragem nos pneus.....	71
Tabela 14	Resumo da análise de variância efetuada considerando-se como fator de variação as diferentes regiões do fruto da macaúba.....	72
Tabela 15	Valores médios das características avaliadas no fruto da macaúba.....	72

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo geral.....	17
2.2	Objetivos específicos.....	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1	Pneu.....	18
3.1.1	Composição química dos pneus	19
3.1.1.1	Negro de fumo	19
3.1.1.2	Polímeros	20
3.1.1.3	Borracha natural	22
3.1.1.4	Borracha Estireno-Butadieno	22
3.1.1.5	Borracha de polibutadieno.....	23
3.1.1.6	Cargas brancas.....	23
3.1.2	Classificação dos pneus	24
3.1.3	Pneu diagonal	25
3.1.4	Pneu radial	26
3.1.5	Pneu sem câmara	26
3.1.6	Tipos de reformas em pneus	27
3.1.7	Lendo um pneu	28
3.1.8	Índice de velocidade.....	29
3.1.9	Índice de carga	30
3.1.10	Passivo ambiental.....	31
3.1.11	Situação atual do pneumático em número.....	36
3.1.12	Legislações atuantes no descarte de pneus (um breve histórico).....	39
3.1.13	Poluição atmosférica provocada por pneus.....	41
3.1.14	Poder calorífico dos pneus	42
3.1.15	O pneu e a indústria de cimento	43
3.1.16	O pneu e a indústria do asfalto	45
3.1.17	Outros destinos para os pneus	46
3.2	Macaúba	47
3.2.1	Biodiesel.....	49
3.2.2	A Macaúba e o Biodiesel	50
3.2.3	Exigências na produção de macaúba	52
3.2.4	Carvão vegetal de macaúba	53
4	MATERIAIS E MÉTODOS	57
4.1	Matérias-primas.....	57
4.1.2	Pneu.....	57
4.1.3	Macaúba	60
4.2	Determinação do poder calorífico superior.....	61

4.3	Análise elementar.....	62
4.4	Análises estatísticas.....	63
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
6	CONCLUSÕES	74
6.1	Pneu e macaúba	74
6.2	Trabalhos futuros.....	75
	REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que o mundo tem uma grande dependência da energia proveniente de combustíveis fósseis e que esse recurso, além de efeitos colaterais ao meio ambiente, não é inesgotável. O custo pela busca desses recursos é cada vez maior, como pode ser observado nos estudos de exploração do petróleo nas camadas mais profundas como o caso do pré-sal brasileiro. Diante do quadro pessimista quanto às reservas de combustíveis fósseis no mundo, a busca por fontes alternativas é recorrente. Uma série de pesquisas para buscas de novas fontes energéticas ganhou espaço nos últimos trinta anos. Pesquisas envolvendo energias de caráter renovável como a eólica, solar e biológica (bioenergia) tem ganhado destaque mundial em função das perspectivas negativas relacionadas ao abastecimento energético dependente dos combustíveis fósseis.

Outro aspecto importante nesse tema são as questões ambientais. A noção de responsabilidade sócio-ambiental decorre da compreensão de que as ações das empresas devem ser éticas e buscarem trazer benefícios para a sociedade, propiciando a realização profissional dos empregados e promovendo benefícios para os parceiros e para o meio-ambiente (CASO; FRANÇÃO; LUCIANE, 2005). Esta frase é uma síntese da atual dificuldade que as empresas vêm enfrentando no que diz respeito à destinação sócio-ambientalmente correta no processo da transformação ou pós-transformação de seus produtos. Nesse contexto, tem-se como exemplo, a situação atual de descarte de carcaças de pneus automobilísticos.

Dessa maneira, o sentido da palavra responsabilidade dá a noção de que toda ação da organização interfere na vida das pessoas ou grupos sociais, ou seja, os públicos com os quais ela se relaciona e o meio-ambiente no qual está inserida. Esta responsabilidade implica em prever as respostas das ações de

forma a se permitir a interação entre as partes envolvidas no todo organizacional, possibilitando que o planejamento caminhe junto as atividades empresariais.

A biomassa ocupa no Brasil e no Mundo, eminente destaque como forma de energia, contribuindo para a redução do consumo de combustíveis fósseis. A biomassa juntamente com o aproveitamento de resíduos sólidos tem despertado interesse para fins energéticos, devido a seu grande potencial de aproveitamento.

No Brasil, um grande número de variedades de palmeiras, se devidamente exploradas, apresentam potencial energético para a produção de biodiesel. Com exceção dos estados da região sul, todas as demais regiões do Brasil possuem extensos palmares à espera de uma exploração agrícola-industrial bem orientada (SILVA; BARRICHELO; BRITO, 1986).

A busca por energias alternativas tem gerado resultados expressivos e tecnologias perfeitamente aplicáveis a vários segmentos da sociedade. O biodiesel, como um dos resultados alcançados, tem sido amplamente utilizado e permitiu a redução da dependência de importação de petróleo.

Dentre as diversas palmeiras, a macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius) é uma palmácea adaptada a regiões semi-áridas. Atualmente, ainda há poucos estudos ligados ao desenvolvimento de tecnologias para o cultivo da macaúba e sua exploração ocorre de forma extrativista em populações nativas (MOTTA; OLIVEIRA FILHO; GOMES, 2002).

A palmeira distribui-se ao longo da América tropical e subtropical, desde o sul do México e Antilhas até o sul do Brasil, chegando ao Paraguai e Argentina, porém estando ausente no Equador e Peru. No Estado de Minas Gerais ocorrem grandes populações de macaúba, apontadas como economicamente promissoras. Nas regiões de Montes Claros, Alto Paranaíba e Zona Metalúrgica, são considerados como as regiões com maior ocorrência

natural de macaúba no Estado de Minas Gerais (MOTTA; OLIVEIRA FILHO; GOMES, 2002).

A espécie apresenta ampla utilidade e mais recentemente seu fruto tem despertado grande interesse sócio-econômico por sua capacidade de produção de óleo vegetal. Em meio a suas várias utilidades são relatados usos medicinais, alimentícios, cosméticos, entre outros (SILVA; BARRICHELO; BRITO, 1986).

Como se observa, a criatividade é evidente e o sistema vai se adaptando conforme as dificuldades e novas soluções vão surgindo. Entretanto, pouco se faz quanto à reutilização de resíduos da produção industrial ou do consumo para aproveitamento energético. Esse é o caso dos pneus automotivos. A destinação final das carcaças há muito tempo vem demonstrando um problema de solução difícil, uma vez que os pneus são objetos sintéticos os quais ocupam um grande volume, necessitando assim, de uma grande área de armazenamento e em condições adequadas para evitar riscos de acidentes, incêndio, proliferação de insetos e roedores.

A disposição desse material em aterros sanitários torna-se inviável, pois apresenta baixa compressibilidade e degradação muito lenta.

A reciclagem é outra opção, que envolve um ciclo que compreende a coleta, transporte, trituração e separação de seus componentes (borracha, aço e lona), transformando sucatas em matérias-primas que serão direcionadas ao mercado. Obtém-se borracha pulverizada ou granulada que vai ter diversas aplicações: utilização em misturas asfálticas, em revestimentos de quadras e pistas de esportes, fabricação de tapetes automotivos, adesivos etc. Quanto menor a granulometria maior o custo envolvido e, esse pode inviabilizar o desenvolvimento de alguns mercados potenciais. Neste ponto, é fundamental a parceria entre universidades e empresas, buscando-se analisar as oportunidades de mercado e o desenvolvimento de tecnologias adaptadas à realidade brasileira

e que possibilitem a utilização da borracha reciclada em larga escala (BORTOLLO, 2002).

O governo Brasileiro deixa a desejar no que diz respeito à ação governamental mais atuante na fiscalização da destinação adequada desses resíduos, os pneus geralmente são armazenados em borracharias, fundos de quintais, ferros-velhos, recauchutadoras ou são jogados em terrenos baldios, cursos de água e beiras de estradas.

Os pneus, quando amontoados um por sobre os outros formam pilhas que representam risco constante de incêndios, que nestes casos são de difícil controle, produzindo assim uma imensa quantidade de fumaça tóxica (dióxido de enxofre e outros gases) e deixam como resíduos óleos que podem contaminar as águas subterrâneas.

No que se refere à forma física do pneu e impermeabilidade da sua borracha, estes, em muitos casos, armazenam água de chuva, propiciando um ambiente ideal para a procriação de mosquitos, roedores e outros vetores de doenças como o mosquito *Aedes aegypti*, transmissor da dengue e também da febre amarela urbana.

A invasão de pneus remoldados em nosso país é tão crítica, que existe uma ausência de dados sobre o destino de pneus inservíveis no Brasil, que não permite determinar com certeza o passivo ambiental. Uma estimativa baseada na frota de veículos indica que são geradas mais de 44 milhões de carcaças de pneus anualmente e que existem mais de 100 milhões abandonados em todo o país (CASO; FRANÇO; LUCIANE, 2005).

Nesse contexto, o presente trabalho objetivou a caracterização das propriedades caloríficas e os constituintes elementares provenientes da queima de pneus automobilísticos sem condição de uso e o mesmo procedimento é adotado com os co-produtos da macaúba provenientes do processo da cadeia

produtiva do Biodiesel os quais são muitas vezes aproveitados de maneira incorreta ou nem mesmo são aproveitados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo determinar as propriedades caloríficas e os constituintes elementares (C, H, N, S) provenientes da queima (fumaça) de carcaças de pneus automobilísticos e da torta de macaúba.

2.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar o poder calorífico de diversas amostras de pneu, de diferentes marcas, retiradas de sua banda de rodagem e talão.
- b) Avaliar a porcentagem dos constituintes químicos elementares (C, H, N, S) e o poder calorífico dos pneus na banda de rodagem e no talão.
- c) Avaliar a porcentagem dos constituintes químicos elementares (C, H, N, S) provenientes dos co-produtos (epicarpo, mesocarpo, endocarpo e torta de macaúba) vindos da cadeia produtiva do Biodiesel.
- d) Avaliar o poder calorífico dos co-produtos (epicarpo, mesocarpo, endocarpo e torta de macaúba) vindos da cadeia produtiva do Biodiesel e comparar sua energia e análises elementares com os constituintes do pneu.

3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

3.1 Pneu

Os pneus foram inventados em 1845, depois que o norte-americano Charles Goodyear descobriu casualmente o processo de vulcanização da borracha (figura 1), quando deixou cair borracha e enxofre no fogão. Tornaram-se então substitutos das rodas de madeira e ferro, usadas em carroças e carruagens. A borracha além de ser mais resistente e durável, absorve melhor o impacto das rodas com o solo, o que tornou o transporte mais confortável e funcional. A maior parte dos pneus de hoje são feitas com 10% de borracha natural (látex), 30% de petróleo (borracha sintética) e 60% de aço e tecidos (tipo lona), que servem para fortalecer ainda mais a estrutura. No Brasil, a maior parte da borracha produzida industrialmente é usada na fabricação de pneus, correspondendo a 70% da produção. Além disso, ela pode ser empregada em calçados, instrumentos cirúrgicos (como tubos, seringas e outros produtos farmacêuticos, além de luvas cirúrgicas e preservativos) (NÓBREGA, 2000).

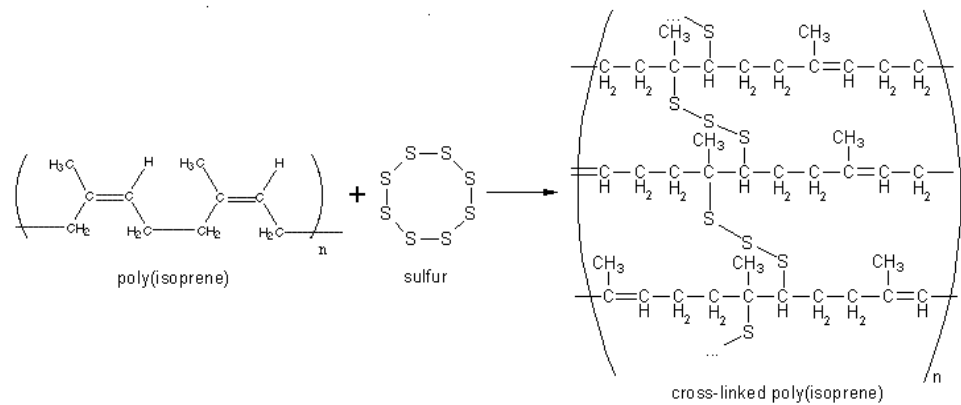


Figura 1 Estrutura química da borracha vulcanizada
Fonte: (TRUCKEEMERCANTILE, 2011).

Esse é o processo chamado de vulcanização que é aquele que recorre ao enxofre elementar para estabelecer os “crosslinks”, que leva a borracha de um estado essencialmente plástico para um estado essencialmente elástico (PINHEIRO, 2001).

3.1.1 Composição química dos pneus

Os componentes presentes em maior quantidade nos pneus são a borracha estireno-butadieno (SBR), que apresenta resistência aos esforços e a abrasão, enquanto que os óleos são misturas de hidrocarbonetos aromáticos que servem para conferir maciez à borracha e aumentar sua trabalhabilidade durante sua confecção. O enxofre é usado para ligar as cadeias de polímeros dentro da borracha e também endurecer e prevenir deformação excessiva a elevadas temperaturas. O acelerador é tipicamente um composto organo-sulfúrico que age como um catalisador para o processo de vulcanização. O óxido de zinco e o ácido esteárico também agem para controlar a vulcanização e realçar as propriedades físicas da borracha (GOULART, 1999).

3.1.1.1 Negro de fumo

Negro de fumo é um termo genérico usado para identificar uma ampla variedade de materiais carbonáceos produzidos através da pirólise de hidrocarbonetos gasosos ou líquidos. É largamente utilizado como agente reforçante e como pigmento em borrachas, tintas industriais e de impressão, plásticos, papel, revestimentos protetores e em compostos condutores de eletricidade. Este material difere química e fisicamente das formas mais puras de carbono como o grafite e o diamante, sendo sua característica granulométrica o pequeno tamanho da partícula (10 – 500 nm) o que ocasiona uma grande

variação em sua superfície (entre 6 e 1200 m²/g). O teor de carbono pode variar de 83% a 99%, enquanto que os outros componentes mais comumente encontrados são o oxigênio e o hidrogênio (GOULART, 1999).

Observa-se que cada tipo de negro de fumo apresenta características apropriadas para conjunto de aplicações distintas. Assim, o de tipo Canal e “Lampblack”, são adequados para emprego como corantes e protetores ultravioletas. O Fornoalha e o Termal, são empregados como reforçantes e o Acetileno, como condutivo (GOULART, 1999).

A pirólise de pneus automotivos, devido à composição da borracha empregada em sua fabricação, produz como um importante subproduto o negro de fumo. Este material, assim obtido, apresenta natureza similar à dos negros de fumo comerciais embora existam algumas diferenças na estrutura química com relação a presença da ligação dupla C=O e de oxigênio ligado ao enxofre, sendo que estes dois tipos de ocorrência são favorecidos pelo aumento de temperatura da pirólise (DARMSTADT; ROY; KALIAGUINE, 1995).

3.1.1.2 Polímeros

Polímero pode ser entendido como uma macro-molécula composta por unidades menores (do grego mero) que se repetem dezenas ou centenas de vezes (daí polímero) (GOULART, 1999). A Figura 2 apresenta um diagrama para a classificação dos polímeros.

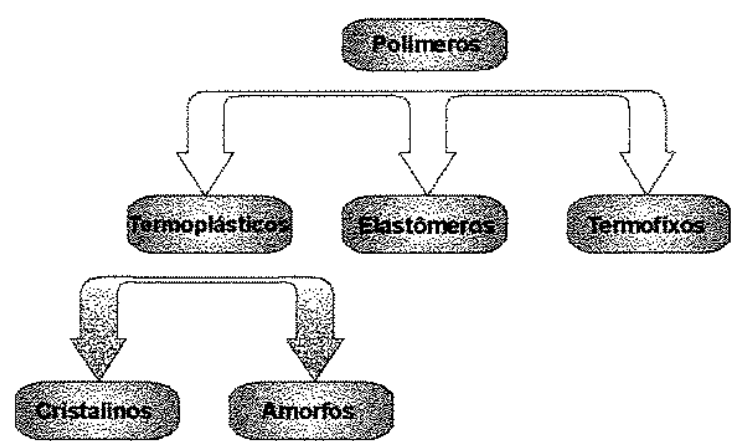


Figura 2 Diagrama Classificação geral dos polímeros

Elastômeros são polímeros que podem ser estirados facilmente em grandes extensões (cerca de 3 a 10 vezes sua extensão original) e retornar rapidamente á sua dimensão original. Esta propriedade é reflexo de sua estrutura molecular composta por uma rede com baixa densidade de reticulação. A palavra borracha é, geralmente, empregada para descrever polímeros não reticulados (GOULART, 1999).

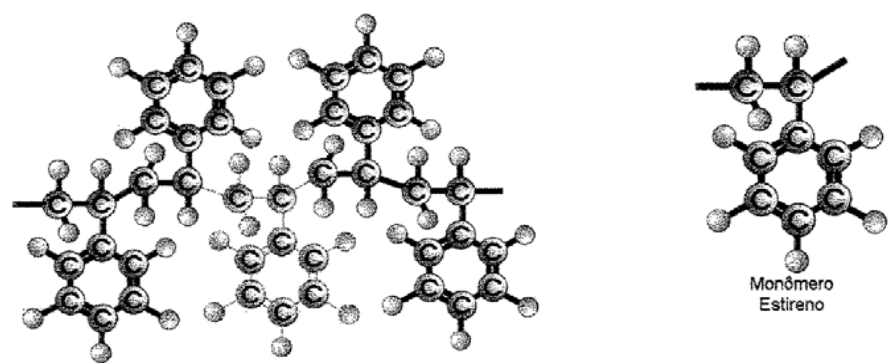


Figura 3 Estrutura do Poliestireno

3.1.1.3 Borracha natural

A borracha natural tem por nome químico poli-isopreno e possui quatro isômeros possíveis (Figura 4). O isômero cis-1,4-poli-isopreno, um dos componentes da “borracha natural”, pôde ser sintetizado somente a partir da década de 50. Esta síntese foi responsável pela grande melhoria da durabilidade e a resistência da borracha (MORTON, 1987).

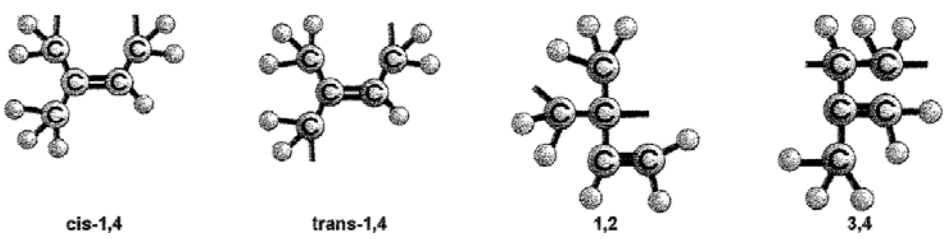


Figura 4 Isômeros da borracha natural

3.1.1.4 Borracha Estireno-Butadieno

Composta pelos dois monômeros (estireno e butadieno, mostrados na Figura 5) simultaneamente e em sequência aleatórias, o que causa heterogeneidade das propriedades físico-químicas ao longo de sua estrutura. Devido a esta característica este composto não resiste a grandes tensões sem a ajuda de negro de fumo ou outros pigmentos de reforço (MORTON, 1987).

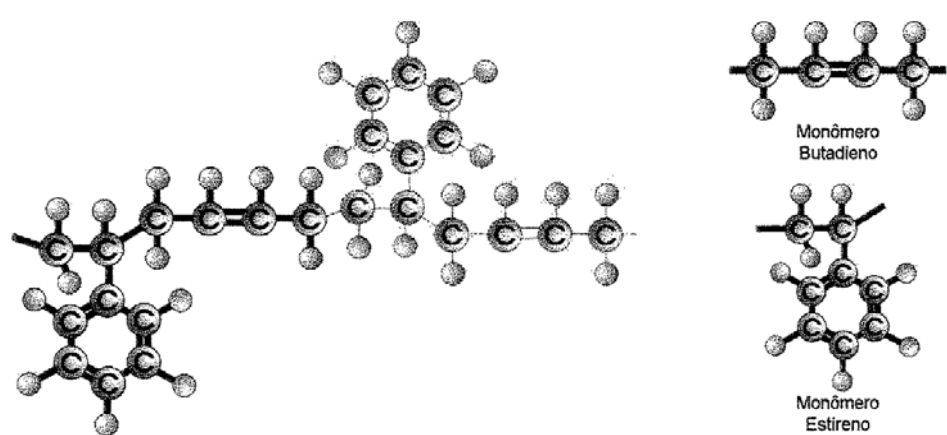


Figura 5 Estrutura da Borracha Estireno-butadieno

3.1.1.5 Borracha Polibutadieno

Admite vários isômeros distintos, no entanto, hoje, o mais produzido é o cis-1,4-polibutadieno (Figura 6). Não possui boa resistência a tensões de deformação elevada, o que exige a adição de alguns enchimentos para reforço de sua estrutura. Sendo um elastômero insaturado pode ser facilmente vulcanizado com enxofre (MORTON, 1987).



Figura 6 Estrutura do Polibutadieno

3.1.1.6 Cargas brancas

Uma **carga**, segundo a Norma ISO 1382:1996, é um “ingrediente de composição sólida, normalmente adicionado, em quantidades relativamente

grandes, às composições de borracha ou de látex por razões técnicas ou econômicas”. As cargas destinam-se a melhorar as propriedades mecânicas (cargas reforçantes), baixar o preço do composto e a melhorar o comportamento do composto de borracha ao longo do processo produtivo, por exemplo, na extrusão (cargas não reforçantes, de enchimento ou de diluição) (RUBBERPEDIA, 2011).

As **cargas não reforçantes** ou **cargas inativas** são aquelas que de uma forma geral provocam pequenos aumentos na viscosidade dos compostos de borracha e pioram as propriedades mecânicas dos vulcanizados, sendo usadas, sempre que possível, para “encher” e baixar o preço do composto. Ao contrário, as **cargas reforçantes** ou **cargas ativas** aumentam bastante a viscosidade dos compostos de borracha e a dureza e melhoram as propriedades dos vulcanizados como tensão de ruptura, resistência ao rasgamento e resistência à abrasão, sendo o aumento maior, até um limite, à medida que a quantidade de carga aumenta. A necessidade de cargas brancas com maior poder reforçante introduziu no mercado entre 1940 e 1960, carbonatos de cálcio, silicatos de cálcio, sílicas hidratadas e sílicas fumadas (RUBBERPEDIA, 2011).

3.1.2 Classificação dos pneus

Os pneus podem ser classificados quanto à sua construção como diagonais e radiais. Para os Diagonais, também referidos como convencionais, os cordonéis das lonas se estendem de talão a talão, formando ângulo com a linha central da banda de rodagem. As lonas subsequentes se cruzam em ângulos opostos (GOODYEAR, 2010).

No caso dos radiais, os cordonéis da lona se estendem de talão a talão no sentido radial, formando um ângulo reto em relação à linha central da banda de

rodagem. Existe ainda a cinta de cordoneis de aço que circunda o pneu, logo abaixo da banda de rodagem (GOODYEAR, 2010).

A figura 7 apresenta a estrutura para os dois tipos de pneu.

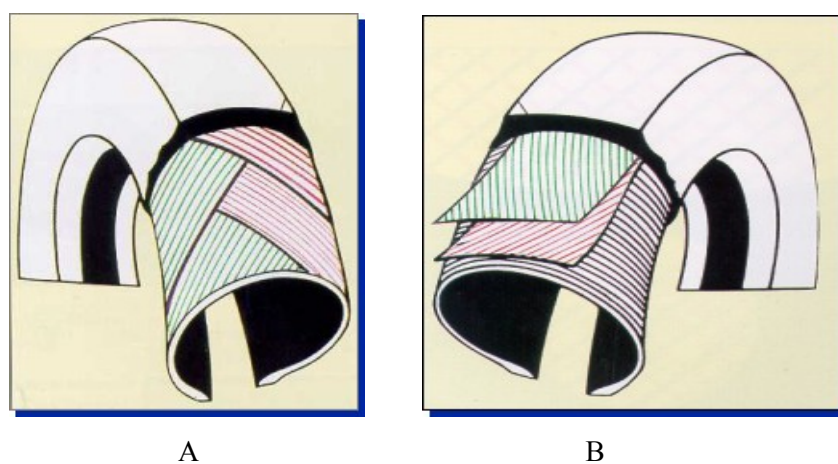


Figura 7 Tipos de pneu (A- diagonal, B- radial)
Fonte: Michelintransport (2010).

3.1.3 Pneu diagonal

O pneu é chamado diagonal ou convencional quando a carcaça é composta de lonas sobrepostas e cruzadas umas em relação às outras. Os cordoneis que compõem essas lonas são de fibras têxteis. Neste tipo de construção, os flancos são solidários à banda de rodagem. Quando o pneu roda, cada flexão dos flancos é transmitida à banda de rodagem, conformando-a ao solo (BRAZILTIRE, 2011).

3.1.4 Pneu radial

É um tipo de construção que proporciona ao pneu, uma maior flexibilidade na área do costado, enquanto a cinta de cordoneis de aço dá maior rigidez à banda de rodagem. Existe aí uma redução dos movimentos de retração e expansão da banda de rodagem e isso diminui o atrito com o solo e a resistência ao rolamento, dando como resultado, um menor consumo de combustível e uma maior quilometragem (GOODYEAR, 2010).

3.1.5 Pneu sem câmara

O pneu sem câmara é mais seguro, porque sua construção é totalmente hermética, pois tem o “liner”, o qual torna desnecessária a câmara e com isso, eliminam-se os efeitos de um estouro súbito. No pneu sem câmara pode penetrar um prego, porém por não haver câmara que possa ser furada, o pneu tenderá a reter o prego. Isso evita a perda brusca de ar e o motorista pode continuar a trafegar, sem necessidade de parar naquele exato momento do furo (GOODYEAR, 2010).

Com pneu sem câmara, o rodar fica mais macio, em virtude do menor peso e espessura do pneu ao ser eliminado, precisamente, a espessura da câmara. Assim, as paredes do pneu ficam mais flexíveis, absorvendo melhor os impactos provocados pelas irregularidades da estrada (GOODYEAR, 2010).

A montagem de um pneu sem câmara é muito mais rápida e fácil que a de um pneu do tipo com câmara. Esta tarefa deve ser realizada com cuidado, assegurando-se que os talões assentem bem sobre a flange do aro e verificando-se finalmente, se o conjunto está bem vedado, pois, caso contrário, haverá perda de ar (GOODYEAR, 2010).

3.1.6 Tipos de reformas em pneus

Os pneus reformados segundo Portaria Inmetro nº 133 de 27 de setembro de 2001 são classificados como:

Pneu reformado - Pneu usado, que passou por um dos seguintes processos para reutilização de sua carcaça: Recapagem, Recauchutagem ou Remoldagem (INMETRO, 2001).

Para melhor explicar, o pneu reformado é classificado em três processos, a saber:

- a) recapagem;
- b) recauchutagem e;
- c) remoldagem.

Recapagem - Entende-se por pneu recapado aquele que tem sua banda de rodagem (parte do pneu que entra em contato com o solo) substituída. Os pneus novos nunca sofreram uso ou reforma e não apresentam sinais de envelhecimento e deteriorações de qualquer origem (INMETRO, 2010).

Recauchutagem – O recauchutado, além da banda de rodagem, substitui os seus ombros (parte externa entre a banda de rodagem e seu flanco, parte lateral do pneu). Para Nóbrega & Aquino, na recauchutagem são adicionadas novas camadas de borracha nos pneus "carecas" ou sem friso. A recauchutagem aumenta a vida útil do pneu em 40% e economiza 80% de energia e matéria-prima em relação à produção de pneus novos (Nóbrega & Aquino, 2001).

Remoldagem – substitui toda a banda de rodagem e os flancos, sendo toda a parte externa do pneu revestida com nova camada de borracha. Nessa reforma, as informações do pneu original – tais como: origem, data de

fabricação, capacidade de carga, índice de velocidade, nome do fabricante - são eliminadas pela nova camada de borracha (AMBIENTE BRASIL, 2010).

O Inmetro também afirma no que diz respeito aos pneus reformados que: Cada pneu reformado deverá apresentar afixado de forma legível, estampadas em alto relevo ou em etiqueta vulcanizada na lateral, as seguintes informações: a expressão recauchutado, recapado ou remoldado; a designação da dimensão do pneu, capacidade de carga e limite de velocidade; a identificação do tipo de estrutura ou de construção da carcaça; a expressão "M+S" ou "M&S" quando se tratar de pneu para lama ou neve; a marca do reformador; o CNPJ do reformador; a expressão "sem câmara" para pneu projetado para uso sem câmara; a data de reforma - mediante uma sequência de quatro números onde os dois primeiros indicam cronologicamente a semana da reforma e os dois últimos indicam o ano - e indicadores de desgaste da banda de rodagem, do índice de carga e de velocidade indicando a conformidade ao regulamento técnico (INMETRO, 2010).

O pneu meia-vida é geralmente oriundo de países com legislação de trânsito mais rigorosa e os consumidores têm o hábito de obedecer rigorosamente às prescrições técnicas (respeitam o índice de desgaste da banda de rodagem indicado pelo fabricante), bem como as imposições do clima (estações bem definidas; o pneu usado no verão não serve para neve). O tempo médio de duração de um pneu meia vida é de aproximadamente 18 meses (CARNEIRO, 2006).

3.1.7 Lendo um pneu

Segundo as normas técnicas brasileiras, os pneus podem ser lidos da seguinte maneira:

175/70R13 82T ou 5.60-15 - Com essas informações tem-se: a medida, tipo de construção, índice de carga e velocidade do pneu. Em outras palavras, **175 ou 5.60** – nos diz respeito a largura nominal da secção do pneu, seja em milímetros ou Polegadas (respectivamente).

A numeração que vem depois da barra, no caso 70, indica a série do pneu, ou seja o seu perfil, isto é, a relação percentual entre a altura e a largura da seção do pneu. Quanto menor for esse numero mais baixo será o perfil do pneu.

O Código **R** – Indica um Pneu é de Construção Radial. Quando não existe a letra, significa que o pneu é de construção diagonal.

O número 13 indica o diâmetro em polegadas do aro em que o pneu é montado.

O número **82** é uma codificação que refere-se ao o índice de carga, isto é, indica a capacidade máxima de carga que o pneu pode suportar.

A letra **T** indica a velocidade máxima em função do índice de carga indicado. Esse pneu exemplificado suporta a velocidade máxima é de 190 Km/h para uma carga de 475 Kg.

3.1.8 Índice de velocidade

O Índice de Velocidade indica a velocidade máxima em que o pneu pode transportar uma carga correspondente a seu Índice de Carga (Figura 08), (exceto para cargas em velocidades acima de 210 Km/h) sob condições de serviço especificadas pelo fabricante do pneu.

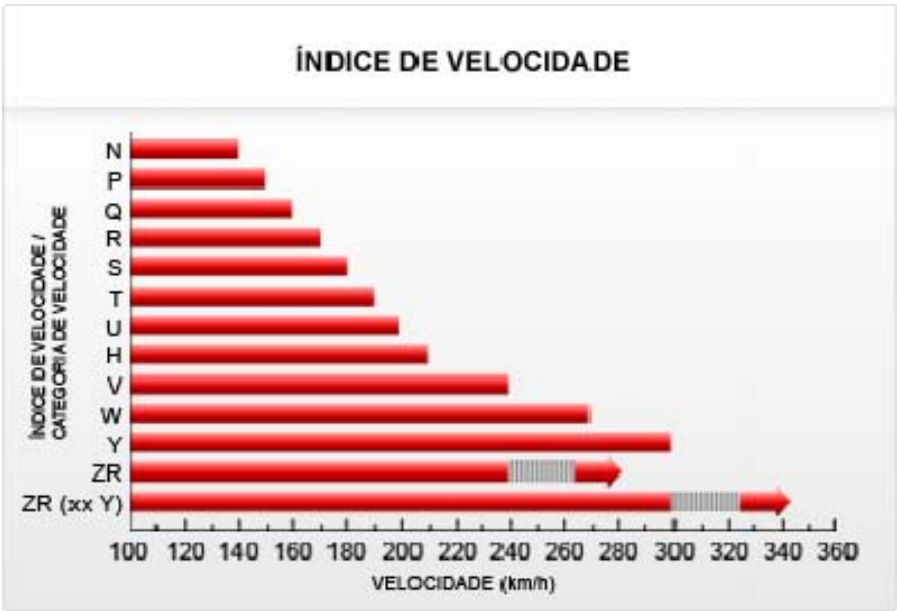


Figura 8 Índice de velocidade de um pneu
Fonte: (PIRELLI, 2011).

3.1.9 Índice de carga

O Índice de Carga é um código numérico associado à carga máxima que um pneu pode transportar (exceto para cargas em velocidades acima de 210 Km/h) numa velocidade indicada por seu índice de velocidade sob condições de serviço especificadas pelo fabricante do pneu (Tabela 1).

Tabela 1 Índice de carga

ÍNDICE DE CARGA											
LI	Kg	LI	Kg	LI	Kg	LI	Kg	LI	Kg	LI	Kg
0	45	10	60	20	80	30	105	40	140	50	190
1	46,5	11	61,5	21	82,5	31	109	41	145	51	195
2	47,5	12	63	22	85	32	112	42	150	52	200
3	48,7	13	65	23	87,5	33	115	43	155	53	206
4	50	14	67	24	90	34	118	44	160	54	212
5	51,5	15	69	25	92,5	35	121	45	165	55	218
6	53	16	71	26	95	36	124	46	170	56	224
7	54,5	17	73	27	97,5	37	127	47	175	57	230
8	56	18	75	28	100	38	130	48	180	58	236
9	58	19	77,5	29	103	39	133	49	185	59	243
60	250	70	335	80	450	90	600	100	800	110	1060
61	257	71	345	81	462	91	615	101	825	111	1090
62	265	72	355	82	475	92	630	102	850	112	1120
63	272	73	365	83	487	93	650	103	875	113	1150
64	280	74	375	84	500	94	670	104	900	114	1180
65	290	75	387	85	515	95	690	105	925	115	1215
66	300	76	400	86	530	96	710	106	950	116	1250
67	307	77	412	87	545	97	730	107	975	117	285
68	315	78	425	88	560	98	750	108	1000	118	1320
69	325	79	437	89	580	99	775	109	1030	119	1360

Fonte: (PIRELLI, 2011).

3.1.10 Passivo ambiental

O IBRACON – Instituto dos Auditores Independentes do Brasil – conceitua o passivo ambiental como:

... toda a agressão que se pratica ou praticou contra o meio ambiente. Consiste no valor dos investimentos necessários para reabilitá-lo, bem como multas e indenizações em potencial. Uma empresa tem passivo ambiental quando ela agride de algum modo ou ação o meio ambiente e não

dispõe de nenhum projeto para sua recuperação aprovado oficialmente ou de sua própria decisão (IBRACON, 1996).

Passivo ambiental [...] “uma possível obrigação derivada de acontecimentos anteriores existentes na data de fechamento do balanço, sendo que o resultado só se confirmará no caso de ocorrência no futuro de tais eventos ou de outros que escapem do controle da empresa” (ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU, 2001).

A legislação federal sobre resíduos sólidos em geral e em particular sobre sua reciclagem é bastante escassa. O tratamento e a disposição adequados dos resíduos sólidos, entretanto, são condições para a manutenção do meio ambiente ecologicamente equilibrado, a sadia qualidade de vida e a saúde da população, razão pela qual, na legislação ambiental, encontram-se as linhas mestras que devem nortear o administrador público nessa questão (JURAS, 2000).

Para os mais de 56 milhões de pneus vendidos no Brasil em 2005, somente 27 milhões foram destruídos, conforme dados da ANIP, associação que representa as empresas do setor de pneumáticos, e do Ibama. No sentido de amenizar os impactos à natureza, o governo federal determinou que os fabricantes e importadores do produto devem dar um fim ambientalmente correto a cinco pneus para cada quatro vendidos. No entanto, de acordo com as indústrias de pneus, é difícil coletar a quantidade suficiente de pneus. O restante necessário para cumprir a meta determinada pelo governo é jogado irregularmente na natureza ou está dentro dos domicílios, dificultando muito sua coleta. Com isso, as empresas pagam multas pesadas pela quantidade de pneus que deixam de coletar (CONRADO; INSTITUTO, 2006).

O consumidor consciente pode ajudar a minimizar os impactos ao meio ambiente e os gastos das empresas e do governo descartando o produto de maneira correta. Vilien Soares, diretor-geral da Associação Nacional das

Indústrias de Pneumáticos (ANIP), recomenda que, quando o pneu não estiver em condições seguras de uso, o proprietário deve procurar uma loja, revendedor ou algum posto de coleta (são centenas espalhados pelo Brasil). Lá, eles se encarregam de dar um destino correto ao produto. A própria ANIP possui seus centros de recepção de pneus velhos, os chamados Ecopontos, em parceria com quase 200 cidades brasileiras. Desde que foram implementados, em 2002, os Ecopontos já encaminharam 125 milhões de pneus, o que corresponde a 600 mil toneladas de resíduo (CONRADO; INSTITUTO, 2006).

O descarte inadequado dos pneus causa vários transtornos ambientais. Indevidamente armazenados, são foco de proliferação de insetos e roedores, representam risco de incêndio, que polui o ar e produz material oleoso que contamina o solo, e ocupam grandes espaços, não podendo, por exemplo, serem depositados em aterros, pois tendem a sair à superfície. Após a expedição da resolução 258 do CONAMA em 1999, que obriga a indústria e os importadores a coletar e dar destinação a pneus inservíveis no território nacional, a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP) deu início em 2004 ao programa de coleta que prevê também a destinação adequada dos pneus através de parcerias com distribuidores, revendedores e prefeituras (DAVID; DAVID; BONENENTE, 2011).

O pneu automobilístico é classificado com Resíduos Classe II-não inertes (ABNT, 1989). Classificam-se assim quando não se enquadram nas classificações de resíduos classe I-perigosos ou classe III-inertes, nos termos da NBR 10004. Estes resíduos podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água (ABNT, 2011).

Como se pode observar na Tabela 2, alguns materiais apresentam tempo de decomposição indeterminado, caso este, que pode ser observado no pneu, nosso foco de estudo.

Tabela 2 Tempo de degradação dos materiais

Material	Tempo de Degradação
Aço	Mais de 100 anos
Alumínio	200 a 500 anos
Cerâmica	indeterminado
Chichetes	5 anos
Corda de nylon	30 anos
Embalagens Longa Vida	até 100 anos (alumínio)
Esponjas	indeterminado
Filtros de cigarros	5 anos
Isopor	indeterminado
Louças	indeterminado
Luvas de borracha	indeterminado
Metais (componentes de equipamentos)	cerca de 450 anos
Papel e papelão	cerca de 6 meses
Plásticos (embalagens, equipamentos)	até 450 anos
Pneus	indeterminado
Sacos e sacolas plásticas	mais de 100 anos
Vidros	indeterminado

Fonte: Ambiente Brasil (2011).

O pneu é considerado um material não biodegradável devido a sua constituição (Tabela 3), por isso seu tempo de decomposição é indeterminado. O abandono ou disposição final incorreta deste material, forma um passivo ambiental com sérios riscos ao meio ambiente e a saúde pública.

Tabela 3 Composição típica de pneu

Componentes	%
Borracha	36
Recheio (SiO2)	37
ZnO	1,2
Estabilizantes	3
Enxofre	1,3
Aço	18
Restante	3,5

Fonte: Francisco Alberto de Souza (RESOTEC, 2004).

Segundo estimativa, em 1993, 0,5% do lixo urbano brasileiro era constituído por pneus automotivos fora de uso. O grande volume ocupado em aterros pela grande dificuldade de compactação e a possibilidade de incêndio de difícil controle, são fatores que agravam ainda mais a situação (BRASIL, 2004).

A figura 9 e 10 apresenta os registros fotográficos de duas formas de destinação de carcaças de pneus, respectivamente, o aterro sanitário da cidade de Campo Belo, MG e o eco-ponto da cidade de Lavras, MG.



Figura 9 A B aterro sanitário na cidade de Campo Belo – MG



Figura 10 A B eco-ponto na cidade de Lavras – MG

3.1.11 Situação atual do pneumático em número

A indústria brasileira de pneus produziu, em 2009, o total de 61,3 milhões de unidades, avaliadas em R\$ 9 bilhões (CEPLAC, 2010), segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). As oito empresas associadas à ANIP produziram 53,8 milhões de unidades, montante que representou 87% da produção total brasileira. De acordo com dados da SECEX , o volume de vendas: (produção + importação) em 2009: foi de 58,5 milhões de pneus, sendo que o volume de exportação correspondeu a 18 milhões. As exportações realizadas pelas empresas vinculadas a ANIP totalizaram 13,2 milhões de unidades o que corresponde a 24 % da produção brasileira (CEPLAC, 2011).

Tabela 4 Razões numéricas de pneumáticas no Brasil (unidade de pneu)

ANO	PRODUÇÃO	VENDAS	EXPORTAÇÃO
	(unidades de pneu)	(produção+importação)	
2010	67,3 milhões	73,1 milhões	18,1 milhões
2009	53,8 milhões	60,2 milhões	14,5 milhões
2008	59,7 milhões	64,2 milhões	17,8 milhões
2007	57,3 milhões	63,1 milhões	19,8 milhões
2006	54,5 milhões	57,2 milhões	18,7 milhões

Fonte: ANIP (2011).

Ainda de acordo com o IBGE, a produção brasileira de pneus em 2009 obteve queda de 14,43% em relação aos 12 meses do ano anterior. Já os dados da ANIP apontam para um desempenho um pouco melhor da produção brasileira de pneus, uma vez que apontam uma queda de 10% no mesmo período (SOMOS; IMPRENSA, 2009).

Tabela 5 Produção pneumática por categoria segue também os seguintes números observados na tabela abaixo

Produção por Categoria	2006	2007	2008	2009	2010
Caminhões/ônibus	6,9 milhões	7,3 milhões	7,3 milhões	6,0 milhões	7,7 milhões
Caminhonetes	5,9 milhões	6,0 milhões	5,8 milhões	5,6 milhões	7,9 milhões
Automóveis	28,9 milhões	28,8 milhões	29,6 milhões	27,5 milhões	33,8 milhões
Motos	11,4 milhões	13,8 milhões	15,2 milhões	13,0 milhões	15,2 milhões
Agricultura/Terraplanagem	688 mil	830,1 mil	903,2 mil	679 mil	917 mil
Veículos industriais	508 mil	462,1 mil	716,4 mil	963 mil	1,6 milhão
Aviões	51,0 mil	61,0 mil	47,6 mil	41,8 mil	60 mil

Fonte: ANIP (2011).

Considerando a Tabela 5, conforme suas respectivas categorias pneumáticas, podemos observar que a somatória da produção nacional de pneu em nosso País correspondente ao ano de 2010, atingiu a marca dos 67,717 milhões de unidades produzidas, número esse, de somatória superior se comparado aos anos anteriores. Levado em consideração que são descartados 300 milhões de pneu anualmente nos Estados Unidos e que nosso País é considerado um país emergente aos olhos do mundo, os valores de produção pneumática, só tenderá ao crescimento.

Tabela 6 Venda de pneumáticos por categoria

Vendas por Categoria	2006	2007	2008	2009	2010
Caminhões/ônibus	7,1 milhões	7,8 milhões	7,6 milhões	6,6 milhões	8,4 milhões
Caminhonetes	6,0 milhões	6,5 milhões	6,2 milhões	5,9 milhões	8,3 milhões
Automóveis	31,2 milhões	33,7 milhões	33,3 milhões	32 milhões	38,1 milhões
Motos e Motonetas	11,6 milhões	13,7 milhões	15,4 milhões	13,6 milhões	15,5 milhões
Agricultura/Terraplanagem	719,1 mil	883 mil	962,2 mil	718,2 mil	977,3 mil
Veículos Industriais	497,1 mil	498 mil	686,7 mil	1,3 milhões	1,6 milhão
Aviões	60,1 mil	71,6 mil	61,4 mil	53,1 mil	73,7 mil

Fonte: ANIP (2011).

A produção de pneus novos está estimada em cerca de 2 milhões por dia em todo o mundo. As indústrias de pneumáticos estão concentrando esforços com o objetivo de desenvolver processos de reciclagem e tem conseguido progressos. Porém algumas soluções encontradas ainda não apresentam viabilidade econômica (RIBEIRO, 2005).

Nos EUA, cerca de 300 milhões de pneus são demolidos ou despejados por ano. Enquanto tem havido muita conversa sobre a reciclagem de pneus, 25% ainda acabam em aterros sanitários e quase a metade dos pneus recuperados nos EUA são utilizados como "Combustível Derivado dos pneus" (TDF), geralmente queimados juntamente com outros combustíveis como o carvão (GREENLIVINGTIPS, 2011).



Figura 11 Passivo ambiental
 Fonte: (CDN.WEBECOIST, 2009).

3.1.12 Legislações atuantes no descarte de pneu (um breve histórico).

Conforme a Resolução nº 258/99, de 26.08.1999, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA determina que as empresas que fabricam ou importam pneumáticos ficam obrigadas a dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis existentes no território nacional e conforme o artigo 11º disposto na resolução 258/99, os distribuidores, os revendedores e os consumidores finais de pneus em acordo com os fabricantes, importadores e o poder público, deverão colaborar na articulação de processos, onde deverão criar planos de coletas dos pneumáticos inservíveis (BRASIL, 2009).

A Assembléia Legislativa aprovou em 21 de dezembro, o projeto de lei nº 167/2003 que proíbe, no Estado de São Paulo, a comercialização de pneus importados usados. O objetivo da medida é inibir, no Estado, importação de carcaças que em grande parte é realizada por meio de liminares concedidas pela Justiça e com isso proteger o meio ambiente dos pneus lançados diretamente em aterros sanitários, cursos d'água, terrenos baldios etc. Segundo dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, a importação de carcaças trouxe a São Paulo cerca de 520 mil pneus usados em 2004 e mais de 7,6 milhões a todo o Brasil. O projeto tem o apoio da FIESP e a iniciativa de São Paulo alcançará outros estados em breve, já que deputados de Minas Gerais, Rio

de Janeiro e Alagoas solicitaram autorização para apresentar projeto equivalente em suas Assembléias (FIESP, 2010).

A União Européia (UE) apelou formalmente da decisão da OMC que condenou as restrições impostas pelo Brasil à importação de pneus recauchutados. Ao contestar decisão que a declara vitoriosa, a UE toma uma atitude incomum. Ao longo da disputa, a UE argumentou que as medidas brasileiras restritivas à importação teriam sido motivadas pelo desejo de proteger os produtores locais de pneus da competição estrangeira, e não para alcançar reais objetivos de saúde pública, conforme defesa do Brasil. O painel concluiu que apesar das limitações serem teoricamente justificáveis por salvaguardar a saúde e o meio ambiente, o Brasil aplicou-as de tal forma que as mesmas resultaram em restrições comerciais discriminatórias (CASOS..., 2007).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente-Conama, “no uso das atribuições que lhe são conferidas pelo art. 8º, inciso VII, da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, e Considerando a necessidade de disciplinar o gerenciamento dos pneus inservíveis; Considerando que os pneus dispostos inadequadamente constituem passivo ambiental, que podem resultar em sério risco ao meio ambiente e à saúde pública; Considerando a necessidade de assegurar que esse passivo seja destinado o mais próximo possível de seu local de geração, de forma ambientalmente adequada e segura; Por isso as empresas revendedoras de pneumáticos, possuem uma obrigação de compartilhamento na destinação ambiental dos pneus vendidos com as empresas fabricantes dos mesmos, dando dessa maneira um destino final, seja para a reciclagem em um processo cujo pneu será transformado em novos produtos, na elaboração de matéria-prima para obtenção de novos produtos, ou para o reaproveitamento dos mesmos para a fabricação de novos pneus” (BRASIL, 2009).

Nos dias atuais, esta é a Resolução do Ministério do Meio Ambiente e do Conselho Nacional do Meio Ambiente que vigora sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e outras providências.

3.1.13 Poluição atmosférica provocada por pneus

O controle das emissões de CO2, um dos principais gases causadores do efeito estufa, representa um dos maiores desafios do setor na área de meio ambiente. A indústria do cimento contribui com aproximadamente 5% das emissões antrópicas de gás carbônico do mundo. Com isso, o Brasil atingiu atualmente um dos menores níveis de emissão de CO2 por tonelada de cimento, quando comparado aos principais países produtores de cimento (SNIC, 2011).

Tabela 7 Análise elementar de fragmentos de Pneu

Elementos	Percentual (%)
C (*)	84,41
H (*)	7,75
N (*)	0,24
O (**)	2,88
S (**)	1,3
Outros (**)	3,42
Total	100,00

(*) Análise CHN
(**) Estimativa
Fonte: GOULART, (1999).

Pneus quando queimados a céu aberto, liberam substâncias tóxicas nocivas através de emissões gasosas de monóxido de carbono (CO), óxidos de enxofre (SOx), óxidos de nitrogênio (NOx) e compostos orgânicos voláteis (volatile organic compounds - VOCs), além de gases perigosos (hazardous air

pollutants - HAPs), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (polynuclear aromatic hydrocarbons – PAHs), dioxinas, furanos, ácido clorídrico, benzeno e metais como: cádmio, mercúrio, chumbo, cromo, arsênio e prata (semi-voláteis e voláteis) e níquel (MENEZES; PACHECO, 2004). Alguns desses elementos podem ser vistos na Tabela 9.

Estas emissões de gases e poluentes causam poluição no ar em função da liberação de fumaça negra e de odores, que pode representar um enorme risco à saúde das pessoas expostas. As substâncias liberadas são tóxicas causando efeitos nocivos desse contato como irritação na pele, nos olhos, nas membranas mucosas, depressão do sistema nervoso central, efeitos respiratórios e câncer (MENEZES; PACHECO, 2004).

Os pneus são formados por cerca de 70% de carbono, 7% de Hidrogênio, cerca de 1-3% de enxofre, cerca de 0,2-0,6% de cloro, 15% de ferro e de outros elementos como: ZnO, SiO₂, Cr, Ni, Pb e Cd (SOUZA, 2004).

3.1.14 Poder calorífico dos Pneus

Pneus também podem ser reciclados para reutilização e, em alguns países inclusive o Brasil, eles têm sido transformados em combustível uma vez que seu poder calorífico se situa em torno de 8500 kcal/kg (KIM, 1993), 37600 KJ/kg (DEMARINI, 1994). Por isso o pneu é utilizado como combustível na indústria de cimento.

Para os resíduos serem introduzidos nos fornos de cimento, é preciso ter um poder calorífico razoável e uma composição química que não permita, na queima, a produção de elementos nocivos ao cimento e ao meio ambiente. O maior estímulo para a reciclagem energética, ou seja, obtenção de energia a partir da queima é o fato de terem esses produtos (pneu) um valor comburente

atrativo, 7.785 Kcal/kg, se comparado ao do carvão (MENEZES; PACHECO, 2004).

Para a extração de energia os pneus são utilizados como combustível em outros processos, devido ao seu poder calorífico que é 8.024 Kcal/kg , sendo maior que do carvão mineral (6.018-7.021 Kcal/kg) e do combustível líquido (13.038- 14.041 Kcal/kg). Este alto poder calorífico incentiva sua utilização como combustível em processos de incineração, economizando recursos naturais como o carvão e o petróleo. O calor produzido pode ser utilizado nas indústrias de aço e de cimento (EPA, 1987). Uma tonelada de pneus rende cerca de 530 kg de óleo, 40 kg de gás, 300 kg de negro de fumo e 100 kg de aço.

Os produtos gerados pelo processamento do xisto adicionado de pneus picados são óleo, gás combustível e enxofre. O óleo de pneu tem poder calorífico de 10.182 kcal/kg. O gás tem poder calorífico de 8.015 kcal/kg. O enxofre é utilizado na agricultura, indústria farmacêutica e na indústria de vulcanização. Os resíduos - xisto e pneu retornado - podem ser aproveitados como combustíveis para termelétrica ou insumo para indústrias cerâmicas e o arame pode ser reciclado em indústrias siderúrgicas (AMBIENTE BRASIL, 2011).

3.1.15 O pneu e a indústria de cimento

O grande passo no desenvolvimento do cimento foi dado em 1756 pelo inglês John Smeaton, que conseguiu obter um produto de alta resistência por meio de calcinação de calcários moles e argilosos. Em 1818, o francês Vicat obteve resultados semelhantes aos de Smeaton, pela mistura de componentes argilosos e calcários. Ele é considerado o inventor do cimento artificial. Em 1824, o construtor inglês Joseph Aspdin queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, transformando-as num pó fino. Percebeu que obtinha uma

mistura que, após secar, tornava-se tão dura quanto as pedras empregadas nas construções. A mistura não se dissolvia em água e foi patenteada pelo construtor no mesmo ano, com o nome de cimento Portland, que recebeu esse nome por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2009).

Todas essas etapas não passaram de meras tentativas que culminaram, em 1924, com a implantação pela Companhia Brasileira de Cimento Portland de uma fábrica em Perus, Estado de São Paulo, cuja construção pode ser considerada como o marco da implantação da indústria brasileira de cimento. As primeiras toneladas foram produzidas e colocadas no mercado em 1926. Até então, o consumo de cimento no país dependia exclusivamente do produto importado. A produção nacional foi gradativamente elevada com a implantação de novas fábricas e a participação de produtos importados oscilou durante as décadas seguintes, até praticamente desaparecer nos dias de hoje (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2009).

A utilização de resíduos sólidos como fonte de energia é prática usual em muitos países. Os Estados Unidos coprocessa cerca de 1,2 milhões de t/ano de resíduo como combustível alternativo, representando 19% do total de energia consumida para a fabricação do cimento. Na França, a indústria utiliza cerca de 400.000 t/ano e na Alemanha 464.000 t/ano, representando 42 e 12% do consumo de energia térmica respectivamente. O Japão, através de um programa de cooperação ambiental entre o governo e a indústria cimenteira, reaproveitou cerca de 27 milhões de toneladas de resíduo utilizados como combustível alternativo (KIHARA, 1999).

O Brasil gera cerca de 2,7 milhões de toneladas de resíduos de diversos segmentos da indústria (siderúrgica, petroquímica, automobilística, de alumínio, tintas, embalagens, papel e pneumáticos) por ano, das quais co-processa,

anualmente, cerca de 950 mil toneladas. Em 2009, foram eliminados em fornos de cimento cerca de 180 mil toneladas de pneus velhos, o que corresponde a 36 milhões de unidades. Mas, ao comparar esses números com o de outros países, percebe-se que ainda há o que se fazer: enquanto o índice de substituição de combustível por resíduos chega a 42% na Alemanha e a 47% na Suíça, esse percentual no Brasil é de aproximadamente 15% (SNIC, 2010).

A indústria de cimento é uma das atividades de maior consumo de energia uma vez que fornos clínquer requerem altas temperaturas (1800°C) (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA, 1987).

Os níveis médios de consumo específico de energia térmica e elétrica na indústria do cimento brasileira encontram-se, respectivamente, em aproximadamente 825 kcal por kg de clínquer e 107 kWh por tonelada de cimento, conforme último levantamento oficial, realizado em 2003 (SNIC, 2010).

Por este motivo, a queima de pneus, ou até mesmo de qualquer outro resíduo em fornos de cimento, segue alguns critérios estabelecidos pelo órgão de controle ambiental responsável pelo Estado, no qual as cimenteiras estão instaladas. Procedimento esse que aplica ao licenciamento de atividades de reaproveitamento de resíduo sólido em fornos rotativos de produção de clínquer.

3.1.16 O pneu e a indústria do asfalto

Os componentes do asfalto podem ser separados em asfaltenos e maltenos. Os asfaltenos são definidos como uma fração de coloração preta, que são insolúveis no *n*-heptano. Já os maltenos são constituídos de compostos saturados, compostos aromáticos e resinas, que são solúveis no *n*-heptano. A relação entre a composição de asfaltenos, maltenos e outros constituintes tem um efeito significativo nas propriedades viscoelásticas dos asfaltos e,

conseqüentemente, no desempenho das pastas que pavimentam as estradas (MORALES et al., 2004).

A alta resistência aos impactos da camada de borracha-betume a baixas temperaturas e sua adesão nas camadas inferiores faz com que não apresente rachaduras nas superfícies das estradas, antes de 10 anos. Do ponto de vista econômico, o aumento da longevidade do piso compensa o aumento do custo para a confecção do mesmo (EPA, 1987).

Apesar de ter preço de mercado 30% acima do convencional, o asfalto-borracha, segundo seus fabricantes, vale o investimento, porque chega a durar até três vezes mais, dependendo das condições climáticas e da carga de tráfego nas rodovias. Hoje, concessionárias do Paraná, Santa Catarina, Rio de Janeiro, Ceará e São Paulo também estão utilizando o asfalto-borracha nas estradas administradas pela empresa. Em cada quilômetro de asfalto-borracha, considerando-se uma pista com 7 metros de largura e 4 cm de espessura, são utilizadas 4.200 carcaças de pneus, depois de retirados os fios de aço e a lona (ABEPRO, 2011).

3.1.17 Outros destinos para os pneus

Outro processo para recuperação dos pneus, também se dá a trituração ou moagem à temperatura ambiente, seguida de peneiramento e separação magnética para a borracha, o aço e o nylon. No segundo, chamado de processo criogênico, os resíduos são tratados numa câmara à temperatura sub-zero em seguida, passam pelo processo mecânico anterior. Ambos são processos considerados “limpos”, sem emissão de óxido de enxofre ou de azoto (RIBEIRO, 2005).

Os pneus podem ser transformados em óleo, gás e enxofre. Além disso, os arames que existem nos pneus radiais podem ser separados por meios

magnéticos. Uma tonelada de pneus rende cerca de 530 kg de óleo, 40 kg de gás, 300 kg de negro de fumo e 100 kg de aço (AMBIENTE BRASIL, 2007).

3.2 Macaúba

O Brasil vem se destacando no cenário mundial na utilização de energia produzida a partir de fontes renováveis, tendo uma matriz energética limpa. Devido a crescente demanda de energia mundial e o incontestável esgotamento das reservas mundiais de petróleo, a busca por novas fontes energéticas torna-se essencial. Dentre estas alternativas a biomassa agrícola, a reciclagem de materiais e a floresta, vêm se destacando na geração de energia.

Dentre as diversas palmeiras, a macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex *Martius*) é uma palmácea adaptada a regiões semi-áridas. A espécie pertence à família Arecaceae, nativa de florestas tropicais, tipicamente brasileiras, sendo uma cultura tolerante à seca e às baixas temperaturas, e com ampla distribuição geográfica. No Brasil ocorre principalmente em Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. (LORENZI, 1992).



Figura 12 Macaúba com seus frutos

Já está em vigor a Lei 19.485, de 2011, que institui a política estadual de incentivo ao cultivo, à extração, à comercialização, ao consumo e à transformação da macaúba e das demais palmeiras oleaginosas, que ficou conhecida também como Pró-Macaúba. A lei teve origem no Projeto de Lei 2.333/08, do deputado Padre João (PT). O objetivo, segundo o texto legal, é promover a integração das comunidades que exploram as oleaginosas, por meio de incentivo ao uso e ao manejo racional dessas espécies, e transformar a atividade em alternativa para a agricultura familiar e o agronegócio. A macaúba é cultivada principalmente no Norte de Minas, e pode vir a ser usada também na produção de biocombustível. Entre as diretrizes da política de incentivo que o governo deverá adotar, a partir de agora, estão: divulgar os componentes nutricionais e medicinais da macaúba e das demais palmeiras oleaginosas; e criar modelo de certificação que identifique a área de produção e ateste a

qualidade de produtos, subprodutos ou derivados dessas oleaginosas (ASSEMBLEIA DE MINAS, 2011).

3.2.1 Biodiesel

O biodiesel pode ser produzido a partir de qualquer óleo vegetal, como de todas as gorduras de animais, e ainda, de óleos e gorduras residuais, onde se incluem os óleos usados de frituras e os óleos contidos nos esgotos urbanos. Possui, portanto, uma ampla gama de matérias primas, permitindo a prática dos mais diversificados arranjos produtivos, os quais podem interagir positivamente na produção de alimentos. É oportuno ressaltar que, sem nenhuma exceção, todos os grãos e amêndoas oleaginosas possuem duas porções: uma porção lipídica que é o óleo vegetal, e uma porção protéica que constitui a base das formulações de rações, podendo ser empregada também como fertilizante, ou melhor, biofertilizante. A porção protéica empregada em rações proporciona a produção de aves, ovos, carnes, leites e seus derivados, isto é, alimentos de valores realçados, essenciais na dieta humana. A porção protéica, com características não alimentícias, como exemplos, as tortas de mamona e do pinhão manso, podem ser empregadas como biofertilizante, promovendo a produção de frutas, de verduras e de outros vegetais. Em qualquer caso, seja como ração ou como biofertilizantes, a produção de biodiesel constitui uma atividade indutora da produção de alimentos, que sob o ponto de vista nutricional, são essenciais como fontes de aminoácidos, de sais minerais e de vitaminas. Os que faltam na dieta humana, os carboidratos, podem ser supridos como carga, com o uso dos cereais (milho, trigo, arroz, etc.), dos tubérculos (batatas, mandioca, beterraba, etc.) e de seus derivados (PARENTE, 2008).

A maior parte de todo consumo energético mundial provém de fontes minerais não renováveis (petróleo e seus derivados), implicando num futuro

esgotamento dessas fontes (FERRARI; OLIVEIRA; SCABIO, 2005). Somado a isso, os danos ambientais causados pela crescente emissão de gases tóxicos na atmosfera e o alto preço pago pelo petróleo são problemas a serem enfrentados. A sociedade mundial mobiliza-se na busca por novas alternativas de matrizes energéticas para a redução desse problema. Nesse cenário, uma das possibilidades que têm recebido apoio mundial é a utilização de combustíveis “limpos” e renováveis em veículos automotores (GONTIJO et al., 2008).

3.2.2 A Macaúba e o Biodiesel

Desde 1º de janeiro de 2010, o óleo diesel comercializado em todo o Brasil contém 5% de biodiesel. Esta regra foi estabelecida pela **Resolução nº 6/2009** do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), publicada no Diário Oficial da União (DOU) em 26 de outubro de 2009, que aumentou de 4% para 5% o percentual obrigatório de mistura de biodiesel ao óleo diesel. A contínua elevação do percentual de adição de biodiesel ao diesel demonstra o sucesso do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel e da experiência acumulada pelo Brasil na produção e no uso em larga escala de biocombustíveis (ANP, 2011).

O uso de óleos vegetais como alternativa ao petróleo modificou o mercado internacional de oleaginosas, que passou a incorporar um importante segmento da economia mundial: o energético. Nesse sentido, o crescimento da demanda por óleos vegetais para fins carburantes acirrou a competição entre potenciais exportadores como Brasil, Argentina, Estados Unidos, Malásia e Indonésia, contribuindo para a redução no nível de estoques e para a menor disponibilidade de óleos vegetais, bem como para a sustentação da alta nos preços (IEA, 2008).

Nesse contexto a macaúba pode tornar-se a palmeira oleaginosa mais importante comercialmente para o Brasil, dada a possibilidade de seus frutos fornecerem 20 a 30 % de óleo, 5 % de farinha comestível, 35 % de tortas forrageiras e 35 % de combustível que pode ser utilizado como fonte de energia calorífica. Frente à necessidade atual de fontes alternativas de energia, a macaúba é considerada uma das espécies nativas com alta potencialidade de fornecimento de óleo para a produção de biodiesel (LORENZI, 2006).

A utilização do óleo de macaúba para a produção de biodiesel com a participação da agricultura familiar elevaria a demanda por essa planta e ajudaria a promover o desenvolvimento sócio-econômico de muitas regiões problemáticas no país, através de programas de geração de empregos e renda contribuindo para erradicação da miséria, freando correntes migratórias internas por contribuir com a fixação das famílias a terra (GONTIJO et al., 2008).

Embora algumas plantas nativas tenham apresentado bons resultados na extração de óleo, a produção ainda é de base extrativista e não há plantios comerciais que permitam avaliar com precisão as suas potencialidades. Estima-se que a macaúba tenha uma produtividade de 5 toneladas de óleo do tipo oléico-palmítico e 1,4 toneladas de óleo do tipo láurico em plantios com uma densidade de 200 plantas por hectare, o que se compara favoravelmente com a produtividade de dendê, especialmente considerando-se que a macaúba apresenta duas características menos favoráveis: sazonalidade e maturação irregular dos frutos no cacho. Isso exigiria um cultivo alternativo com safras de outras espécies para manter o funcionamento de uma fábrica de produção de óleos (GONTIJO et al., 2008).

3.2.3 Exigências na produção da Macaúba

A macaúba (*Acrocomia aculeata*) é uma palmeira nativa das florestas tropicais cujo estipe atinge de 10 a 15 m de altura e 20 a 30 cm de diâmetro. A região dos nós é coberta de espinhos escuros, pontiagudos com cerca de 10 cm de comprimento (MIRANDA et al., 2001; LORENZI et al., 2004).

Pesquisadores da Universidade Federal de Viçosa têm proposto vários espaçamentos para o cultivo racional da macaúba, entre eles 4x5 e 5x5 em triângulo equilátero, o que daria 575 e 460 plantas/ha, com produção de 2,7 t/ha e 2,2 t/ha de óleo da polpa, respectivamente. Essa estimativa de produção de óleo é bem conservadora, haja a vista que leva em consideração a produção de 30 kg de fruto por planta e uma taxa de extração física em torno de 18%. Há possibilidade de uma maior produção de óleo, mas os trabalhos de pesquisa precisam ainda ser validados na prática.

A macaúba é uma matéria-prima promissora para a obtenção de óleos vegetais tendo em vista seu alto teor de óleo na polpa (60 a 70%, em base seca) e na castanha (40 a 50%, em base seca) e sua elevada produtividade. A faixa de produtividade anual da palmeira macaúba, cultivada em espaçamentos diversos e sujeita a trato agrícola pode variar de 1,47 a 4,97 toneladas de óleo por hectare, índice somente atingido por poucas espécies, como o dendê, o pinhão-manso e o coco-da-baía (CETEC, 1983; MOTTA; OLIVEIRA FILHO; GOMES, 2002; FREITAS; LAGO, 2007).

A frutificação ocorre durante todo o ano e o amadurecimento dos frutos varia conforme a região. A macaúba é nativa dos cerrados e florestas abertas de América Tropical e habita áreas abertas e com alta incidência solar, adapta-se a solos arenosos e com baixo índice hídrico.

Na fase inicial da planta, o número de cachos e de frutos é significativamente inferior quando comparado aos das plantas mais velhas, em

plena maturidade. A produção nos primeiros anos, como consequência, é pequena e a produtividade cacho/fruto/planta é muita baixa. Geralmente, a palmeira inicia a produção quando o caule está bem caracterizado e projetado da superfície do solo, época em que ocorre a queda das primeiras folhas; tal situação acontece, normalmente, no sexto ou sétimo ano de vida, prolongando-se por um período de vida e de produção cuja longevidade, ainda, não pôde ser precisada (SILVA et al., 2008).

3.2.4 Carvão vegetal de macaúba

Hoje, o Brasil é o maior produtor de carvão vegetal do mundo. Cerca de 90% do carvão produzido é utilizado no setor industrial, principalmente siderúrgico (PINHEIRO et al., 2006). Minas Gerais é o principal estado produtor e consumidor de carvão vegetal cujo principal destino é a siderurgia. O carvão vegetal é utilizado na siderurgia como insumo termo-redutor no processo de produção de ferro-gusa, aço e ferro-ligas. Além da indústria siderúrgica, o carvão vegetal é utilizado como substituto da lenha e do óleo combustível, na geração de energia em caldeiras e fornalhas de diversos setores industriais (VILAS BOAS et al., 2010).

A carbonização é a degradação térmica da biomassa em uma atmosfera controlada com ausência ou a presença de uma quantidade limitada de oxigênio. O principal produto da carbonização é o carvão vegetal. Durante a degradação térmica ocorre a liberação de voláteis e a concentração de carbono na estrutura do carvão. A qualidade do carvão depende basicamente de características físico químicas da matéria-prima e do processo de carbonização (VILAS BOAS et al., 2010).

O consumo energético tem crescido constantemente, principalmente nas indústrias Brasileiras. Cada vez mais se necessita de um carvão vegetal de

melhor qualidade, para atender a demanda das indústrias energéticas. Com isso, é cada vez mais crescente a produção de carvão vegetal com outros tipos de matérias, distintos da madeira. As imensas reservas naturais de palmáceas, no caso do dendê, do indaiá, do babaçu e da macaúba, revelam-se muito promissoras pelo alto rendimento energético por unidade de área cultivada e por se desenvolverem em áreas competitivas com a agricultura de sobrevivência (SILVA; BARRICHELO; BRITO, 1986).

O endocarpo das palmáceas, como no caso da macaúba (*Acrocomia aculeata*), é um tecido rico em feixes vasculares, fibra e parênquima de enchimento. É um tecido lignificado, extremamente duro, apresentando uma estrutura de grã-fina e grande vocação para ser convertido em carvão (TENÓRIO, 1982).

Além do potencial da macaúba como produtora de óleo para biodiesel, seu endocarpo pode ser utilizado para a produção de carvão vegetal. A produção de carvão a partir do endocarpo de macaúba seria um subproduto do cultivo da palmeira para geração de biodiesel. Em trabalho realizado por Silva, Barrichello e Brito (1986), verificou-se que o carvão do endocarpo das palmáceas, como a macaúba, pode ter uso em operações metalúrgicas e siderúrgicas, e para uso doméstico.

Em virtude de seu poder calorífico superior – 5.104 Kcal/kg – fica ressaltada a importância de sua utilização como combustível, quer na forma direta, quer na forma carbonizada (SILVA et al., 2008). Os elevados teores de lignina e a alta densidade do endocarpo lhe conferem características favoráveis para a produção de carvão, o que pôde ser comprovado num trabalho comparativo dos endocarpos de macaúba e babaçu com a madeira de *Eucalyptus grandis* (Tabela 8).

Tabela 8 Características dos endocarpos de babaçu e macaúba, comparado com a madeira de Eucalyptus grandis e seus respectivos rendimentos gravimétricos (%) na produção de carvão (500°C)

Características	Endocarpo macaúba	Endocarpo babaçu	Madeira de eucalipto
Densidade básica (g/cm³)	1,161	1,085	0,457
Lignina (%)	36,60	27,90	24,60
Holocelulose (%)	52,60	64,30	69,00
Extrativos (%)	10,80	7,80	6,40
Cinzas (%)	0,97	1,94	0,23
Rendimento carvão (%)	38,16	31,72	30,13
Rendimentos condensados	33,16	43,37	42,88
Rendimento em gás (%)	25,67	24,91	26,98

Fonte: Silva (1986).

Os resultados apresentados na Tabela 8 demonstram claramente diferenças básicas entre as três matérias-primas no que diz respeito ao rendimento gravimétrico. Em todas as faixas de temperaturas estudadas, verificou-se que os endocarpos de palmáceas, provavelmente em função de sua composição química (maior teor de lignina) apresentaram maiores rendimentos em carvão (SILVA; BARRICHELLO; BRITO, 1986).

O Brasil se destaca no cenário mundial como o maior produtor e consumidor mundial de carvão vegetal. É o único país no mundo onde o carvão vegetal tem uma aplicação industrial em grande escala. Aproximadamente, 40% do ferro gusa e das ligas metálicas produzidas no país utilizam o carvão vegetal como combustível e redutor (BARCELLOS, 2007). Em 2007, o país produziu aproximadamente 10 milhões de toneladas (BRASIL, 2008), tendo crescido 4% em relação a 2006. Cerca de 90% do carvão produzido é utilizado no setor industrial, principalmente siderúrgico (PINHEIRO et al., 2006). Destacando-se o Estado de Minas Gerais como o maior produtor e consumidor de carvão vegetal do país, em razão de seu parque siderúrgico, responsável pelo consumo, em

2007, de 60% da demanda nacional, que corresponde a 22 milhões de metros de carvão (AMS, 2008).

O caroço do fruto da macaúba que é formado pela amêndoa mais endocarpo, possui poder calorífico igual a 4840 Kcal/kg enquanto seu endocarpo esse valor pode chegar a 5152 Kcal/kg (VILAS BOAS et al., 2010).

É encontrado valor médio para o poder calorífico superior da madeira de *Eucalyptus grandis* igual a 4.641 kcal/kg (VALE et al., 2001). O valor para folhosas tropicais está entre 3.500 a 5.000 kcal/kg (BRITO, 1993).

Estudos demonstram que o epicarpo (casca) do fruto da macaubeira possui seus teores elementares de (C, H, N, S e O) com os seguintes valores: carbono (46,42%); hidrogênio (5,77%); nitrogênio (0,41%); enxofre (0,17%) e oxigênio (47,21%) respectivamente, (DOURADO, 2010).

4 MATERIAES E MÉTODOS

4.1 Matérias-primas

4.1.2 Pneu

O material analisado foi coletado no eco-ponto direcionado a coleta de pneus automobilísticos inservíveis localizado na BR 262 do município de Lavras-MG. O material foi coletado levando-se em consideração seu estado de uso, uma vez que foi escolhido aquele material que ainda encontrava em sua banda de rodagem indícios aparente de suas nervuras ou frisos, ou seja, pneus 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 classes pneumáticas (passeio) sendo essas as mais comumente encontradas no mercado e vida média de 5 anos.

Em seguida, foram selecionados diferentes aros e bandas de rodagens (165/R13, 175/R13, 175/R14), (vide exemplo 1) que foram amostradas de 3 empresas diferentes e categorizadas como: empresa G, empresa P e empresa F. As amostras a ser analisadas foram retiradas de maneira transversal em 3 locais diferentes na banda de rodagem (Figura 13). Nos flancos (Figura 14) foram retiradas duas amostras em locais distintos em cada lado do pneu e no sentido transversal ao mesmo. Material vindo do mesmo local dentro de cada pneu (banda ou Talão) foi colocado junto e homogeneizado para, que destes, fosse retirada uma amostra composta para as análises. A ferramenta utilizada para coletar o material (raspa de pneu), foi um serrote, com o qual era possível obtermos amostras com granulometria próxima a desejável.

Exemplo 1: G-o1. 165/70R13

- G – Marca do pneu;
- o – local da amostra (flanco) no pneu;
- 1 – nº igual identificam o mesmo pneu;
- 165 – largura da banda de rodagem (mm);
- 70 – perfil do pneu;
- R – pneu tipo radial;
- 13 – aro da roda do pneu em polegadas.



Figura 13 Banda de rodagem



Figura 14 Flanco

Tabela 9 Tipo de pneu e localização da amostra no mesmo

TIPO DE PNEU	LOCAL DA AMMOSTRA
G-o1. 165/70R13	Flanco
G-br1. 165/70R13	Banda de rodagem
G-o2. 165/70R13	Flanco
G-br2. 165/70R13	Banda de rodagem
G-o3. 175/70R13	Flanco
G-br3. 175/70R13	Banda de rodagem
G-o4. 175/70R13	Flanco
G-br4. 175/70R13	Banda de rodagem
G-o5. 175/65R14	Flanco
G-br5. 175/65R14	Banda de rodagem
G-o6. 175/65R14	Flanco
G-br6. 175/65R14	Banda de rodagem
P-o1. 165/70R13	Flanco
P-br1. 165/70R13	Banda de rodagem
P-o2. 165/70R13	Flanco
P-br2. 165/70R13	Banda de rodagem
P-o3. 175/70R13	Flanco
P-br3. 175/70R13	Banda de rodagem
P-o4. 175/70R13	Flanco
P-br4. 175/70R13	Banda de rodagem
P-o5. 175/80R14	Flanco
P-br5. 175/80R14	Banda de rodagem
P-o6. 175/65R14	Flanco
P-br6. 175/65R14	Banda de rodagem
F-o1. 165/70R13	Flanco
F-br1. 165/70R13	Banda de rodagem
F-o2. 165/70R13	Flanco
F-br2. 165/70R13	Banda de rodagem
F-o3. 175/70R13	Flanco
F-br3. 175/70R13	Banda de rodagem
F-o4. 175/70R13	Flanco
F-br4. 175/70R13	Banda de rodagem
F-o5. 175/65R14	Flanco
F-br5. 175/65R14	Banda de rodagem
F-o6. 175/65R14	Flanco
F-br6. 175/65R14	Banda de rodagem

4.1.3 Macaúba

As amostras do fruto da macaúba foram cedidas pelo laboratório de Óleos gorduras e Biodiesel da Universidade Federal de Lavras – MG. Estes frutos foram provenientes de amostras compostas de coletas realizadas na região Norte do Estado de Minas Gerais, nos municípios de Montes Claros e circunvizinhos. Os co-produtos foram amostrados em diferentes processos de transformação do material. De início foi retirado o epicarpo do fruto, então o fruto foi despolpado e do processo de despolpa colou-se amostras do mesocarpo, logo após foi separado a amêndoa do endocarpo, o qual também foi amostrado.

A torta (amêndoa + endocarpo) da macaúba utilizada neste trabalho proveio do processo de moagem mecânica via prensa expeller. Os co-produtos (epicarpo, mesocarpo, endocarpo e torta), provenientes do processamento da indústria de óleo de macaúba podem ser vistos na Figura 15.

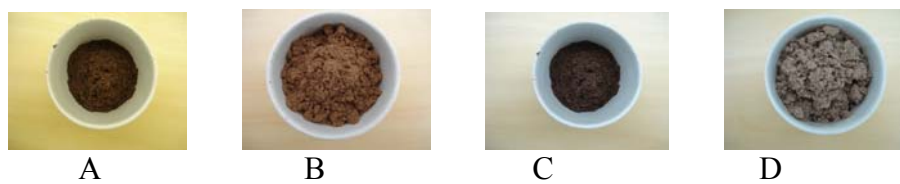


Figura 15 Amostras: (A epicarpo; B mesocarpo; C endocarpo e D torta)

A figura 16 apresenta a fotografia dos cachos do fruto da macaúbeira.



Figura 16 Cachos de macaubeira com seus frutos

4.2 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. A análise foi realizada em um calorímetro adiabático e bomba calorimétrica Parr® (Figura 15) e utilizou a Norma 8633 da ABNT (1984), com a utilização de aproximadamente 0,5g secas do penu moído.

Quanto à macaúba, os mesmos procedimentos foram tomados para cada material individualmente (epicarpo, mesocarpo, endocarpo e torta), no entanto, a quantidade do material a ser analisado foi de aproximadamente 1,0g.

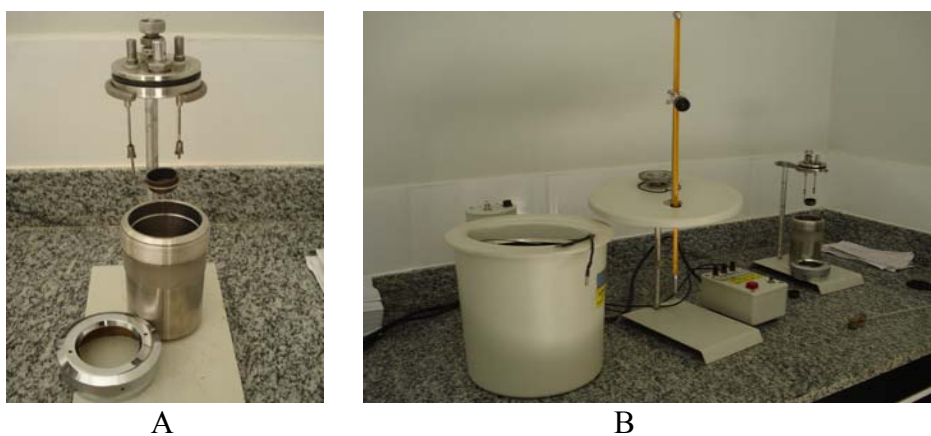


Figura 17 A: Bomba calorimétrica; B:conjunto calorímetro

4.3 Análise elementar

Utilizou-se a análise elementar e foi determinado o teor de Carbono, Nitrogênio, Hidrogênio e Enxofre.

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 60mesh. 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 0,005 mg, foram pesados, aproximadamente, 2 mg de resíduo em um porta-amostra de estanho. Em seguida, foi adicionado ao material 2mg de óxido de tungstênio (neutralizador de alogênio). O conjunto (resíduo + porta amostra) foi depositado no carrossel do equipamento Elementar Vário Micro Cube (Figura 18).

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.

Quanto a macaúba, os mesmos procedimentos foram tomados para cada material individualmente (epicarpo, mesocarpo, endocarpo e torta), no entanto, não foi necessário adicionar tungstênio a amostra.

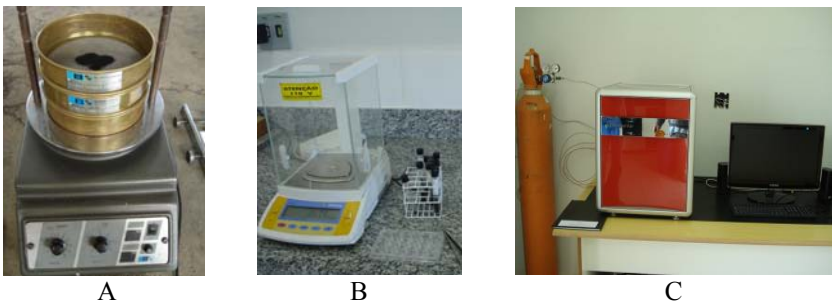


Figura 18 A: mesa vibratória com jogo de peneiras; B: balança de precisão; C: Analisador Elementar Vario Micro Cube

4.4 Análises estatísticas

Na avaliação das características quantificadas nos pneus utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado disposto em um esquema fatorial 18 x 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 .

Na avaliação das características quantificadas nos resíduos lignocelulósicos da macaúba utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado (Eq. 2). Para a comparação múltipla das médias foi utilizado o teste de Tukey em nível de 5% de significância.

$$Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij} \quad (2)$$

Em que: Y_{ij} é a observação do i -ésimo nível do fator região do fruto ($i = 1, 2, 3$ e 4) na j -ésima repetição ($j = 1$ e 2); μ é uma constante inerente a todas as observações; t_i é o efeito do i -ésimo nível do fator região do fruto ($i = 1, 2, 3$ e 4); e_{ij} 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, 2008).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 16 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 10 Resumo das análises de variâncias

FV	GL	Quadrado Médio						
		C	H	N	S	C/H	C/N	PCS
Pneu (P)	17	2,794 ^{ns}	0,118 ^{ns}	0,008 ^{ns}	0,018 ^{ns}	0,248 ^{ns}	16,394 ^{ns}	11937,93 [*]
Local (L)	1	0,034 ^{ns}	0,722 [*]	0,001 ^{ns}	0,057 ^{ns}	2,326 [*]	10,503 ^{ns}	27422,87 ^{ns}
P*L	17	2,959 ^{ns}	0,091 ^{ns}	0,011 [*]	0,025 ^{ns}	0,291 ^{ns}	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 teor de oxigênio. Já o efeito do local de amostragem nos pneus foi significativo apenas para o teor de hidrogênio e para a razão carbono-nitrogênio. Os coeficientes de variação encontrados foram baixos e refletem a alta precisão do experimento (PIMENTEL-GOMES, 2009).

Na Tabela 11 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 11 Valores médios e teste de comparação múltipla realizado para as características avaliadas nos pneus

Pneu	Local					
	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. Resultado diferente foi observado no flanco, onde os pneus 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 e flanco, são encontrados os pneus de maior poder calorífico (Tabela 12) como: F4, P5, F2, P6, F6, P3, F1, são os materiais que apresentam as maiores porcentagens 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, de considerável poder calorífico que não se encaixou nos citados acima, os quais encontraram um alto índice energético, que pode ser explicado pela relação encontrada entre os teores de carbono (C%) e hidrogênio (H%).

Quanto aos pneus que não se encaixam nessas justificativas (F5, F6 e P1), nessa situação, encontramos os pneus F5 e F6, os quais são da mesma marca ou empresa, possuem a mesma banda de rodagem (175), o mesmo aro (14), e o mesmo perfil (65), fato esse que nos leva a pensar que os mesmos poderiam possuir características físico-químicas semelhantes ou até mesmo idênticas, uma vez que suas descrições são as mesmas. Podemos sustentar também, no fato que suas características caloríficas e físico-químicas podem ser alteradas em função de sua constituição, uma vez que na fabricação dos pneus são adicionadas cargas brancas (carbonatos, silicatos) que destinam-se a melhorar as propriedades mecânicas (cargas reforçantes), baixar o preço do composto e a melhorar o comportamento do composto de borracha ao longo do processo produtivo, por exemplo, na extrusão (cargas não reforçantes, de enchimento ou de diluição) (RUBBERPEDIA, 2011). Outros materiais também são utilizados como: SiO₂; ZnO; Cr; Ni; Pb; Cd; TI; estabilizantes e outros (SOUZA, 2004).

Pelo fato da complexidade de compostos que fazem parte da constituição do pneu, outros fatores precisam ser melhor estudados.

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 considerado a magnitude do poder calorífico. Segundo alguns autores referenciados o poder calorífico médio de pneus se situa em torno de 8500 kcal/kg (KIM, 1993), 37600 KJ/kg (DEMARINI, 1994), outros dizem que o poder calorífico do pneu em torno de 8000 kcal/kg (Environmental Protection Agency). Entretanto, para (MENEZES; PACHECO, 2008), a energia liberada na queima do pneu fica em torno de 7780 kcal/kg.

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 banda e ombro para a porcentagem de Nitrogênio, visto que o maior valor desse elemento foi encontrado em F4, ocorrência justificada pelo fato de neste mesmo pneu foi encontrada a menor relação C/N já que os elementos Carbono e Nitrogênio encontram-se diretamente proporcionados, sendo assim, o pneu P4 de menor porcentagem de Nitrogênio em seu flanco, foi encontrada 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 para a relação C/N, ocorrência justificada pelo fato de neste mesmo pneu foi encontrada maior porcentagem de Nitrogênio e consequentemente a menor relação C/N para flanco já que os elementos Carbono e Nitrogênio encontram-se diretamente proporcionados.

Na Tabela 12 encontram-se os valores médios de carbono, hidrogênio, oxigênio e enxofre e para a relação C/H considerando-se como fator de variação o tipo de pneu (efeito simples).

Tabela 12 Valores médios de carbono, hidrogênio, oxigênio e 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 apresentaram estatisticamente o mesmo teor de carbono (79,50%), hidrogênio (6,77%) e enxofre (1,53%). Estes valores foram os mesmos observados por Goulart (1999), exceto o teor de enxofre. O referido autor encontrou o teor de carbono no pneu em torno de 84,41%, hidrogênio por volta de 7,75% e enxofre 1,3%. A relação

carbono/hidrogênio também foi estatisticamente igual para os pneus avaliados ficando em torno de 11,76%, enquanto Goulart encontrou aproximadamente 11%.

Na Tabela 13 encontram-se os valores médios de carbono, hidrogênio, oxigênio e enxofre e a relação C/H considerando-se como fator de variação o local de amostragem no pneu (efeito simples).

Tabela 13 Valores médios de carbono, hidrogênio, oxigênio e 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 os teores de oxigênio e 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.

Na Tabela 14 encontram-se um resumo das análises de variância considerando-se como fator de variação as diferentes regiões do fruto da macaúba.

Tabela 14 Resumo da análise de variância efetuada considerando-se como fator de variação as diferentes regiões do fruto da macaúba

FV	GL	Quadrado Médio						
		C	H	N	S	C/H	C/N	PCS
TRAT	3	0,552 ^{ns}	0,704*	10,134*	0,028*	1,225*	4715,16*	97870,37*
Erro	4	0,107	0,003	0,001	0,0001	0,042	0,442	2816,78
	CVe	0,69	0,79	1,15	4,09	2,76	1,68	1,08

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 Tabela 15 encontram-se os valores médios características avaliadas no fruto da macaúba, bem como o teste de comparação múltipla realizado.

Tabela 15 Valores médios das características avaliadas no fruto da macaúba

	C	H	N	S	C/H	C/N	PCS
Epicarpo	47,16a	5,89a	0,42a	0,183b	8,33b	111,87d	4602,33a
Torta	47,35a	6,82c	3,00c	0,188b	6,94a	15,76 b	4866,88b
Endocarpo	48,38a	6,14b	2,16b	0,097a	7,87b	22,38c	5008,10bc
Mesocarpo	47,78a	7,18d	5,82d	0,376c	6,65a	8,21a	5113,16c

C: carbono (%); H: hidrogênio (%); N: nitrogênio (%); S: enxofre (%); C/H: relação carbono – hidrogênio; C/N: relação carbono – nitrogênio; PCS: poder calorífico superior (kcal/kg). Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Observa-se que as diferentes regiões do fruto da macaúba apresentaram estatisticamente o mesmo teor de carbono elementar, em média 47,66%. Já para teor de hidrogênio e para o poder calorífico superior o epicarpo e o mesocarpo da macaúba apresentaram estatisticamente o menor e o maior valor, respectivamente. Observa-se que a diferença no teor de hidrogênio entre essas regiões do fruto foi de 1,29% o que possivelmente resultou no aumento do poder calorífico superior em 510,83 kcal/kg. Segundo Protásio et al. (2011) a cada 1%

de acréscimo no teor de hidrogênio há um aumento de 514,75 kcal/kg no PCS considerando-se vários combustíveis de biomassa vegetal, assemelhando-se ao encontrado neste trabalho.

Já na torta do fruto da macaúba, encontramos valores semelhantes se comparado aos seguintes valores para a maravalhas de pinus, carbono (49%), hidrogênio (6,65%) e poder calorífico de (4864 kcal/kg). Quanto ao endocarpo do fruto da macaúba, encontramos valores semelhantes se comparado aos valores da maravalhas de eucalipto, carbono (48,20%), hidrogênio (6,36%), (PROTÁSIO et al., 2010).

Segundo (VILAS BOAS, 2010), que avaliou os valores médios da densidade aparente e o poder calorífico do endocarpo e caroço da macaúba não carbonizados chegando a seguinte conclusão, Caroço (amêndoa + endocarpo) 4840,01 kcal/kg, Endocarpo com 5152,36 kcal/kg, dessa maneira podemos comparar os valores encontrados nesse trabalho.

Segundo (VALE et al., 2000) trabalhando com *Eucalyptus grandis*, sob diferentes adubações, encontraram PCS médio de 4650 cal/g, valor este próximo ao poder calorífico superior da casca de macaúba. (PROTÁSIO et al., 2010), encontraram valores médios de 4606 e 4515 Kcal/kg para resíduos do processamento dos grãos de café e da colheita do milho, respectivamente.

No trabalho de Dourado (2010), no qual foi encontrado para o epicarpo do fruto da macaúba os seguintes valores para carbono (46,42%), hidrogênio (5,77%), nitrogênio (0,41%), e enxofre (0,17%), dessa maneira embasam os resultados nesse trabalho encontrado.

Os baixos teores em enxofre (S%) são características benéficas quando o objetivo é a geração de energia, uma vez que a liberação deste elemento na atmosfera causa impactos ambientais incalculáveis como a acidificação da água das chuvas (BRITO; BARRICHELO, 1978).

6 CONCLUSÕES

6.1 Pneu e macaúba

O poder calorífico obtido no pneu (cerca de 8790 kcal/kg) é bastante elevado, o que torna interessante sua utilização como combustível. Comparando-se com as principais biomassas empregadas para este fim, este poder calorífico é cerca de 2,27 vezes maior que o obtido pela casca de arroz, 1,95 vezes o obtido pelo bagaço de cana, 1,9 vezes maior que o poder calorífico da maravalha de eucalipto, 1,8 vezes maior que o obtido pela maravalha de pinus, 1,8 vezes maior que o poder calorífico dos co-produto da macaúba e cerca de 1,5 vezes maior que o poder calorífico do carvão vegetal, 1,9 vezes maior que poder calorífico superior da madeira de *Eucalyptus grandis*. Como desvantagem de seu uso como combustível tem-se a presença de compostos carcinogênicos e mutagênicos em sua composição.

Para a análise elementar do pneu, podemos observar que seu teor de carbono em média de (79,5%) para a banda de rodagem e (79,52%) para o flanco, nos deixa bem claro sua grandiosidade como fonte energética, essa proporção chega ser em média 1,67 vezes maior que o teor de carbono do fruto da macaúbeira. Quanto ao teor de enxofre encontrado no pneu, (1,51%) na banda de rodagem e (1,56%) no flanco, fato esse não muito favorável quando se pretende utilizá-lo como fonte de energia, uma vez que quando queimado, emitirá uma grande quantidade de enxofre na atmosfera, fato essa que o impede de ser queimado sem a utilização de um filtro que evite tal problema.

Devido a esperarmos essa situação, é que no atual trabalho temos a presença do fruto da macaúbeira, que vem para formar junto com o pneu uma mistura de proporções de ambas as partes (blend) no intuito de promover uma diminuição da emissão do enxofre no momento da queima, uma vez que no fruto

da macaúba foram encontradas as seguintes proporções para o elemento enxofre: epicarpo (0,183%) de enxofre, torta (0,188%), endocarpo (0,097%) e mesocarpo (0,376%) de enxofre. Números esse que atingem uma média de (0,211%) de enxofre contra (1,54%) encontrado no pneu, isso equivale dizermos que o fruto da macaubeira tem aproximadamente 7,3 vezes menor teor de enxofre que o pneu.

6.2 Trabalhos futuros

Desta maneira, estaremos visando em um futuro próximo a elaboração de um projeto de filtro que amenize as conseqüências e os impactos provocados pelo lançamento direto da fumaça proveniente da queima indiscriminada desses materiais e ao mesmo tempo estaremos utilizando seu poder calorífico para aquecimento em sistemas de caldeiras, e juntamente estarmos gerando energia elétrica.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **ANP**: o biodiesel obrigatório. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=46827&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1311772821640>>. Acesso em: 27 jul. 2011.

AMBIENTE BRASIL. **Armazenamento de resíduos classe II**. Disponível em: <http://www.ambientall.com.br/ambientall_trata/downloads/NBR_11174_NB_1264_-_Armazenamento_de_residuos_classes_II_-_N.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland>>. Acesso em: 23 jun. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Estudo da destinação e da reciclagem de pneus inservíveis no Brasil**. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2007_tr650481_0291.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2011.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11174. **Armazenamento de resíduos classe II- não inertes e III – inertes – Procedimento**. São Paulo, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. **Normas técnicas**. São Paulo, 1974.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA. **Anuário estatístico 2008**. Disponível em: <<http://www.silviminas.com.br>>. Acesso em: 02 abr. 2010.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS. **ANIP em números**. Disponível em: <http://www.anip.com.br/?cont=conteudo&area=32&titulo_pagina=Produ%E7%E3o/>. Acesso em: 05 jun. 2011.

AZZINI, A. et al. Curva de Maturação da *Crotalaria juncea* L. em função da densidade do caule. **Bragantia**, Campinas, v. 40, n. 1, p. 1-10, 1981.
BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. **BEN 2010**. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2010.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2011.

BARCELLOS, D. C. **Caracterização do carvão vegetal através do uso de espectroscopia no infravermelho próximo**. 2007. 140 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional BEN 2008 – Base 2007, Preliminar**. Brasília: MME, 2008. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 02 abr. 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Governo fecha brecha jurídica que permite importação de pneus usados**. Brasília, 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resoluções**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390>>. Acesso em: 01 jul. 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resoluções do CONAMA nº 416/2009**. 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616>>. Acesso em 25 de março de 2011.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº258, de 30 de junho de 1999. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada,e outras providências. **DIÁRIO**

OFICIAL [da] República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, DF, 30 de setembro de 2009.

BRAZILITES. Disponível em: <<http://www.braziltires.com.br/tudosobrepneus/pneus.html>>. Acesso em: 27 jul. 2011.

BRITO, J. O. **Reflexões sobre a qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico.** Piracicaba: IPEF, 1993. 6 p. (Circular Técnica, n. 181).

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Características do eucalipto como combustível: Análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF**, Piracicaba, v. 16, p. 63-70, jun. 1978.

CARNEIRO, O. A. **Fatores críticos de sucesso no lançamento (start-up) de pneus remoldados de automóveis, camionetas, camionetes e seus rebocados leves certificados pelos organismos acreditados pelo Inmetro.** 2006. 123 f. Dissertação (Mestrado em Sistema de Gestão) – Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2006.

CASOS de pneus: União Européia apela pela decisão da OMC. **Pontes Quinzenal**, Geneva, v. 2, n. 1, set. 2007.

CASO, E. D.; FRANÇÃO, T.; LUCIANE, P. M. **Ética e responsabilidade sócio ambiental no descarte de pneus: um.** Pelotas: UFPEL, 2005.

COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DA LAVOURA CACAUEIRA. Disponível em: <[http://www.ceplac.gov.br/radar/heveicultura/A%20Cadeia%20Produtiva%20da%20Borracha%20Natural\(II\).pdf](http://www.ceplac.gov.br/radar/heveicultura/A%20Cadeia%20Produtiva%20da%20Borracha%20Natural(II).pdf)>. Acesso em: 05 jun. 2011.

COMO funciona o aproveitamento ou reciclagem de pneus. Disponível: <<http://ambiente.hsw.uol.com.br/reciclagem-pneus1.htm>>. Acesso em: 5 dez. 2010.

JURAS, I. da A. G. M. **Legislação sobre reciclagem do lixo.** Brasília: Câmara

dos Deputados, 2000.

DAVID, R. K.; DAVID, E. G.; BONENENTE, L. I. **Implantação de dormentes ambientalmente corretos**: responsabilidade social e ambiental. Disponível em: <http://www.cbtu.gov.br/monografia/2006/monografias/monografia_8.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2011.

DARMSTADT, H.; ROY, C.; KALIAGUINE, S. Esca characterization of commercial carbon-blacks end of carbon-blacks form vacuum pyrolysis of used tires. **Carbon**, Elmsford, v. 32, n. 8, p. 1399-1406, 1995.

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.

DOURADO, D. C. et al. Determinação dos teores elementares de resíduos lignocelulósicos provenientes da produção do biodiesel. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 4.; CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 7., Belo Horizonte, 2010. **Anais...** Belo Horizonte: RBTB. G-ÓLEO, 2010.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Scrap Tire Handbook**. United States. EPA/905-k-001.1987.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **As questões ambientais da Região Metropolitana de São Paulo**. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/arquivos/2010/semana_ma/nelson_nefussi_xii_semana.pdf> Acesso em: 3 jan. 2010.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Disponível em: < http://www.fiesp.com.br/ambiente/produtos_servicos/downloads/Informe%20Ambiental%2005.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2010.

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 de Campinas, Campinas, 1999.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja: taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físicoquímica e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, p. 19-23, 2005.

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

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. Programa Energia. **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais**. Belo Horizonte, 1983.

FREITAS, S. P.; LAGO, R. C. A. Equilibrium data for the extraction of coffee and sunflower oils with ethanol. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 10, n. 3, p. 220-224, 2007.

GOING. **Going Beyond Green**. Disponível em: <<http://cdn.webecoist.com/wp-content/uploads/2009/03/tires-3.jpg>>. Acesso em: 6 jun. 2011.

GONTIJO, V. S. et al. Avaliação da qualidade dos óleos de macaúba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 5., Lavras, 2008. **Resumos...** Lavras: UFLA, 2008.

GREENLIVINGTIPS. **Tires and the environment**. Disponível em: <<http://www.greenlivingtips.com/articles/40/1/Tires-and-the-environment.html>>. Acesso em: 2 mar. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE CONTADORES. **Normas e procedimentos de auditoria: NPA11: balanço e ecologia**. 1996. Disponível em: <http://www.portaldeauditoria.com.br/tematica/contabilidade_ambiental-passivo.htm>. Acesso em: 04 jul. 2011.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. Disponível em:
<<http://www.iea.sp.gov.br/OUT/verTexto.php?codTexto=9167>>. Acesso em:
15 ago. 2008.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: Páginas e Letras, 2000.

KIHARA, Y. Co-processamento de resíduos em fornos de cimento: tendências. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., São Paulo, 1999. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 1999. p. 36-43.

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.
LOIOLA, C.; AKATU, I. Descarte inadequado de pneus gera prejuízos à sociedade. **Instituto Akatu**, São Paulo, 16 ago. 2006. Texto de apoio.

LORENZI, G. M. A. C. **Acrocomia aculeata (Jacq.) Lodd. ex Mart. - Arecaceae**: bases para o extrativismo sustentável. 2006. 156 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 1992. v. 1, 352 p.

MORALES, M. G. et al. Viscous properties and microstructure of recycled eva modified betumen. **Fuel**, London, v. 83, p. 31-38, 2004.

MORTON, M. **Rubber Technology**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1987. p. 638.

MOTTA, P. E.; OLIVEIRA FILHO, A. T.; GOMES, J. B. V. Ocorrência da macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 1023-1031, 2002.

NOBREGA, L. M.; AQUINO, M. D. **Diversas alternativas para o destino final dos pneus da região de Fortaleza/CE.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 29., 2001, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABENGE, 2001. p. 45-49.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Contabilidad e financiera y presentación de informes ambientales por las empresas.** 2001. Disponível em: <<http://www.unctad.org/sp/sphome.html>>. Acesso em: 15 ago. 2002.

PARENTE, E. J. S. **Biodiesel & alimentos.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 5., 2008. **Resumos...** Lavras: UFLA, 2008.

PEREIRA, S. J. et al. Celulose de tucum (*Bactris inundata*). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 130-140. 2004.

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

PINHEIRO, E. G. **Modelos numéricos aplicados a vulcanização de pneu.** 2001. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2001.

PINHEIRO, P. C. C. et al. **A produção de Carvão vegetal.** Belo Horizonte: CETEC, 2006. 103 p.

PIRELLI. **Tudo sobre pneus.** Disponível em: <http://www.pirelli.com/tyre/br/pt/car/genericPage/all_about_tyres>. Acesso em: 10 jul. 2011.

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.

RIBEIRO, C. M. de S. **Gerenciamento de pneus inservíveis**. 2005. 85 p. Dissertação (Mestrado em Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente) - Centro Universitário SENAC, São Paulo, 2005.

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

SILVA, J. C. **Endocarpos de babaçu e macaúba, comparados à madeira de Eucalyptus grandis para a produção de carvão vegetal**. 1986. 124 p. (Doutorado) – Escola Superior Agrícola Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1986.

SILVA, J. C.; BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. Endocarpos de Macaúba e de Babaçu comparados a madeira de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. **IPEF**, Piracicaba, n. 34, p. 31-34, 1986.

SILVA, N. D. et al. **Avaliação da produção agrícola da macaúba**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 5., 2008. **Resumos...** Lavras: UFLA, 2008.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CIMENTO. Disponível em: <http://www.snica.org.br/pdf/presskit_SNIC_2010_PB.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2011.

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

TENÓRIO, E. C. **O babaçu e coqueiros assemelhados em Minas Gerais**. Belo Horizonte, 1982. 216 p.

TRUCKEEMERCANTILE. Disponível em: <<http://truckeemercantile.com/crasher-info-on-charles-goodyear/>>. **History on Charles Goodyear**. Acesso em: 12 jan. 2011.

VALE, A. T. et al. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000.

VALE, A. T. et al. Relação entre a densidade básica da madeira, o rendimento e a qualidade do carvão vegetal de espécies do cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 89-95, 2001.

VILAS BOAS, M. A. et al. **Aproveitamento de resíduos de macaúba para produção de carvão vegetal**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 5., 2008. **Resumos...** Lavras: UFLA, 2008.

VILAS BOAS, M. A. et al. Efeito da temperatura de carbonização e dos resíduos de macaúba na produção de carvão vegetal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 481-490, set. 2010