



## **TECNOLOGIAS DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE BORRACHA**

### **3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente**

**Wanderlei de Oliveira Gonzalez<sup>1,2</sup>, Ruth Marlene Camponanes Santana<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Engenharia Química/ LPPT/ Ulbra

(wanderleigonzalez@polimerosltada.com.br)

<sup>2</sup> LAPOL - Laboratório de Materiais Poliméricos/ Escola de Engenharia / UFRGS

(ruth.santana@ufrgs.br)

#### **1 Resumo**

Os pneus são cerca de 70 % da borracha consumida. Além dos pneus inservíveis temos os rejeitos da indústria de artefatos. Em 2005 20,6 milhões toneladas de borracha consumidas no mundo geraram, em média, 10 % de resíduos no processo, agravando o problema. Sobre o assunto há um vasto material de pesquisa, sendo que a maioria trata da reciclagem de pneus. Este trabalho é uma revisão sobre a reciclagem da borracha, tendo como objetivos discutir o conceito de regenerado, os processos e suas dificuldades. Não abordou processos patenteados e a reciclagem do pneu. A reciclagem mecânica reduz o tamanho em moinhos ou por criogenia, transformando-os em matéria-prima secundária. O moído passa em peneiras, selecionando a partícula. Bons resultados são atingidos com tamanhos até 20 mesh. Na criogenia a borracha é resfriada abaixo da transição vítrea, obtendo-se pós finos e limpos. O nitrogênio e granulação prévia oneram, comparativamente a moagem em moinho. A desvulcanização constitui-se de moagem e ruptura das ligações químicas, empregando-se agentes químicos, ultrassom, micro-ondas e microbiológicos. O método químico é seletivo (apenas pontes sulfídicas). No processo biológico, as bactérias digerem o enxofre, resultando um reciclado que pode ser adicionado até 15% no “virgem”. A incineração oxidativa, acima de 900°C e tempo de residência traz vantagens: produção de energia e reduz volume até 90 % e 75 % em massa. Formas de termalização dos resíduos: co-processamento em fornos de cimenteiras, rochas de xisto pirobetuminoso e em caldeiras. A questão ambiental é um limitante, podendo ser fonte de poluição.

Palavras-chave: Borracha reciclada. Borracha regenerada. Borracha desvulcanizada.

#### **Abstract**

The tires are about 70 rubber consumed. In addition to the tires we have the industry's tailings of artifacts. In 2005 20.6 million tonnes of rubber consumed worldwide generated, on average, 10 of waste in the process, exacerbating the problem. On the subject there is a several research material, most of which comes from the recycling of tires. This work is a review about the recycling of rubber, having as objective to discuss the concept of regenerated, processes, and their difficulties. Not addressed patented and tire recycling. The mechanical recycling reduces the size in Mills or for cryogenics, transforming them into secondary raw material. The ground passes on screens, selecting the particle. The best results are achieved with sizes up to 20 mesh. In cryonics the rubber is cooled below the glass transition temperature, obtaining fine powders and cleaned. The nitrogen and grain milling, compared to affect prior in mill. The devulcanization constitutes sure grinding and breaking of chemical bonds, employing chemical, microbiological, microwave and ultrasound. The chemical method is selective (only bridges sulfur). In the biological process, bacteria digest the sulfur, resulting a recycled that can be added up to 15 % in "Green". The oxidative



incineration, above 900° C and residence time brings benefits: energy production and reduces volume by 90 % and 75 % in droves. Forms of waste heat conversion: cements furnaces co-processing, pyro tarmac shale rocks and in boilers. The environmental issue is a limiting, and may be source of pollution.

*Key words: Recycled rubber. Reclaimed rubber. Devulcanized rubber.*

## **BORRACHA RECICLADA – UMA BREVE REVISÃO**

### **1 Introdução**

Os primeiros registros sobre a borracha são de 1510 feitos por Francisco Hernandez num livro publicado em 1649 (GRISON et al., 1984). A partir de 1770, John Priestley popularizou o uso da borracha como apagador na Inglaterra (MORTON, 1995). Da primeira referência da existência de uma árvore que produzia uma seiva da qual gerava um material com aplicação prática como botas, capas de chuva e hoje um sem número de produtos, passaram-se mais de cinco séculos. Contudo, foi em pouco mais de 100 anos, que a indústria da borracha teve um incremento significativo com o advento dos elastômeros sintéticos. Assim como nos demais setores das atividades humanas o desenvolvimento traz consigo aumento da oferta de produto, mas também a necessidade de descarte pós-consumo.

Historicamente diz-se que a reciclagem dos artefatos de borracha é “tão antiga, quanto o uso industrial da borracha em si” (RESCHNER, 2008). O mesmo autor cita um anúncio publicado em Leipzig, Alemanha onde dizia: "Moagem e separação de sucata de borracha de todos os tipos. Preços baixos. A maior empresa industrial. Moagem Personalizada. Especialidade: pó de borracha dura". Embora, a necessidade de reciclagem, inicialmente, não se deu por questões ambientais e sim por motivações econômicas e estratégicas, ou seja, o preço da borracha natural e a dificuldade de aquisição devido à guerra. Independente das razões que levaram a necessidade da reciclagem da borracha o fato é que muita investigação tem-se feito para tornar possível sua recuperação. O trabalho visa resumir as várias tentativas ao longo dos anos dos mais variados enfoques dado a tecnologia de reciclagem e os resultados alcançados.

Tradicionalmente se diz que a borracha na sua condição original não tem aplicação industrial, porque é termoplástica, sendo suas propriedades muito pobres do ponto de vista de desempenho, no frio enrijece e no calor torna-se pegajosa (BLOW & HEPBURN, 1982). Para reduzir tais efeitos se revestia com duas camadas de tecidos para fabricação de capas de chuva e calçados. As pesquisas evoluíram e a borracha passou a ser reticulada com agentes químicos, no caso com enxofre, que modifica a estrutura dando maior estabilidade mecânica e térmica. Essa transformação de um estado preponderantemente plástico a um predominante elástico denomina-se vulcanização (MILES & BRISTON, 1975). O material torna-se termofixo introduzindo muitas vantagens para sua aplicação, porém dificultando sua reciclagem.

Na prática dos 3R's a ênfase sempre foi na reciclagem, porque a redução e a reutilização só começou a ser implementada a partir da conjugação de diversos fatores que são produtos de uma simbiose de causas e efeitos, consciência ecológica e evolução da Ciência dos Materiais. Logo, numa perspectiva mais ampla e mais atualizada, a dos 5R's, a presente investigação das tecnologias existente pretende responder a seguinte questão: é viável técnica, econômica e ambientalmente segura reciclagem da borracha?

Uma breve revisão sobre o assunto borracha reciclada há um vasto material de pesquisa, sendo que a maioria trata da reciclagem de pneus, evidentemente por sua participação na indústria automobilística, quer pelo número de veículos produzidos, quer pela quantidade de borracha unitariamente utilizada. Do consumo total no Brasil mais de 50 % é



na fabricação de pneus, sendo 25 % borracha natural e 75 % sintética (BNDES apud GOMES FILHO, 2007).

Outra estimativa refere que os pneus são responsáveis por cerca de 70 % da borracha consumida (WEBER, 2006). Essa preocupação com os pneus é, portanto amplamente justificada. Contudo, tem-se com esse enfoque um ângulo da questão, pois além dos pneus inservíveis temos os rejeitos da indústria de artefatos. A estimativa é que em 2005 em torno de 20,6 milhões toneladas de borracha, entre natural e sintética foram consumidas no mundo e se calcula que, na média, gera-se 10 % de resíduos durante o processo, os números dão uma boa ideia da dimensão do problema (International Rubber Study Group apud WEBER.).

Este trabalho tem como escopo uma breve revisão sobre as tecnologias de reciclagem da borracha; disseminar conceitos de borracha regenerada; os principais processos de reciclagem da borracha e as suas dificuldades.

O trabalho limitou-se a reciclagem de elastômeros convencionais do tipo *comodities* visto que a variedade de materiais é vasta, além do que, dependendo de suas características químicas os processos são diferentes.

A revisão não abordou processos de domínio público, considerando que há vários usados em nível industrial, porém são patenteados e dos quais não se conhece detalhes tecnológicos que permitam uma avaliação criteriosa.

Outro aspecto que não foi coberto pelo trabalho é a reciclagem do pneu como produto resultante da tecnologia de construção, onde diversos materiais são reunidos, como tecidos nos convencionais, malhas de aço nos radiais, etc.

## **2 Referencial teórico**

O termo vulgarmente empregado para a borracha reciclada é o de “borracha regenerada”, que é obtida pela aplicação de calor e agentes químicos nos resíduos vulcanizados, ocorrendo uma regeneração significativa da borracha para seu estado plástico original (BLOW & HEPBURN, 1982). Outro termo usado é de borracha desvulcanizada pelo mesmo método de obtenção, não só rompendo as pontes de enxofre que formam o retículo polimérico, mas igualmente quebrando as cadeias do polímero, reduzindo sua massa molar e conseqüentemente as propriedades mecânicas (RESCHNER, 2008). Contudo, essa terminologia é inadequada porque é restritiva e quimicamente incorreta. Restritiva porque exclui as outras formas de reciclagem e incorreta devido a plasticidade resultante do composto “regenerado” ser pela quebra das pontes de enxofre que tornavam o material termofixo e não pela regeneração na acepção do termo.

A borracha natural possui na sua estrutura ligações diênicas que se estima saturarem com enxofre combinado na ordem de 43 % (BLOW & HEPBURN, 1982). Um sistema convencional de vulcanização usado em borracha para artefatos em geral, o teor de enxofre empregado é de 2,5 partes por cem de borracha (phr) (CHAPMAN, 2011). Assim, pode-se especular que muito provavelmente o retorno da condição de revulcanização se deve aos sítios originais que não haviam reagido e não aos resultantes da desvulcanização.

De acordo com o Cempre, Compromisso Empresarial para Reciclagem, a destinação dos resíduos da borracha são as seguintes:

- Compostagem: Os resíduos de borracha não podem ser empregados como adubo. Contudo, poderiam ser cortados, no caso dos pneus em pedaços de 5 cm para ajudar na aeração do composto orgânico. Todavia, tais pedaços devem ser removidos do adubo antes da comercialização.
- Incineração: Os resíduos podem se transformar em combustível alternativo, visto que os pneus tem poder calorífico de 7.667 kcal/kg, enquanto o carvão antracito 7.500 kcal/kg (LAGARINHOS & TENÓRIO, 2008)



A resolução do CONAMA 258/99 em seu artigo 9º. veda a queima a céu aberto. Porém, as indústrias de papel e celulose, alimentícia e as fabricantes de cimentos utilizam como combustível de caldeira, mas para isso devem adotar procedimentos que evitem emissões poluentes.

- Aterro: A disposição em lixões, aterros, ou outros locais abertos é proibida em muitas cidades.

Os processos de reciclagem de produtos fabricados com elastômeros e os rejeitos são basicamente: reciclagem mecânica, química e energética.

### **2.1 Reciclagem mecânica**

Visa a redução de tamanho para reprocessamento dos materiais transformando-os em matéria-prima secundária (GOMES, 2007, BARRETO GOMES, 2001)

O processo de reciclagem mecânica pode ser feito por moinho de facas ou de cilindros e criogenia. Nos moinhos, quer sejam de facas ou de cilindros, estão acopladas peneiras vibratórias para selecionar a partícula desejada. O artefato é moído em tamanhos variados, por exemplo, de 3 a 5 mm o diâmetro médio. Sendo que bons resultados são atingidos com tamanhos inferiores a 20 mesh (PIEROZAN, 2007) e nessa granulometria é técnica e economicamente viável (RESCHNER, 2008).

Nos moinhos de cilindros, ranhurados ou não, o consumo de energia é mais elevado, bem como o custo do equipamento é maior.

No processo de moagem criogênica a borracha granulada é resfriada abaixo da sua temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ), tornando-se quebradiça e obtendo-se pós bastante finos e descontaminados. Porém, o custo do nitrogênio líquido e a necessidade de granulação prévia resultam mais caro, comparativamente a moagem em moinho de facas (PIEROZAN, 2007)

### **2.2 Reciclagem química**

Um conceito geral para a reciclagem química é que se constitui de um processo de despolimerização que pode ser por: solvólise (hidrólise, alcoólise, amilose), ou por procedimentos térmicos (pirólise à baixa e alta temperaturas, gaseificação, hidrogenação) ou através métodos térmicos/catalíticos (pirólise e emprego de catálise seletiva) SPINACÉ & DE PAOLI, 2005.

Na tecnologia da borracha, se usa tanto os termos regeneração como desvulcanização que, em princípio tem duas etapas, moagem e a ruptura das ligações químicas. Segundo Lagarinhos e Tenório (2008), há ao redor de 25 tecnologias entre desenvolvidas ou em fase de desenvolvimento no mundo, porém apenas quatro estão em uso. Como destacado poucos anos haviam passado do uso da borracha e já se registravam as primeiras patentes para sua regeneração e segundo Grison et. al., 1984:

- Francis Baschnagel (1855) - tratamento com álcool absoluto e dissulfeto de carbono, em um recipiente fechado, sem a aplicação de calor.
- H. Marks (1899) – moagem em meio alcalino.
- D. A. Cutler (1913) – moagem em meio neutro.
- Mitchell, Ball – moagem em meio ácido.

De acordo com Serrano (2002), em sua revisão, cita a obtenção a partir do resíduo de borracha em suspensão de  $\text{CHCl}_3$ , oxigênio e ozônio na temperatura ambiente, que após é tratado com  $\text{H}_2\text{O}_2$  para dar grupos  $-\text{COOH}$  15 a 20% de borracha líquida. Ainda, segundo o mesmo autor:

- Yamashita et. al. (1978) recuperaram pó de borracha empregando um catalisador à base de óxido de ferro e fenilhidrazina.



- MARKVIK (1981) utilizou plastificantes e um sistema redox especial (cloreto do metal ferro), na presença de ar e a temperatura inferior 100 °C. A redução é feita com fenil- hidrazina ou difenilguanidina.
- MYERS (1997) desenvolveu e patenteou um processo de recuperação borracha a partir de pneus e seus resíduos de sua fabricação por meio de remoção do enxofre, mediante imersão em solventes como, por exemplo, tolueno, nafta, benzeno, cicloexano, adicionando-se à mistura um metal alcalino, como o sódio e na temperatura de 300 °C na ausência de oxigênio ocorre a ruptura das pontes de enxofre, porém ADHIKARI (2000), afirma que o método pode não ser seguro, além de ambiental e economicamente inviável, demonstrando também que não só ocorre a clivagem do enxofre-carbono como as ligações carbono-carbono.

A desvulcanização química também pode ser por ultrassom, micro-ondas, microbiológica e mecânica, no entanto o método químico tem a vantagem de ser seletivo, pois atua apenas nas pontes sulfídicas (MIRANDA, 2009). Conforme Pierozan (2007) o processo de regeneração via química tradicionalmente usa os seguintes métodos:

- Bandejas - o material ser regenerado é colocado em bandejas metálicas perfuradas, em camadas. As bandejas são distribuídas em carrinhos prateleiras para permitir contato do vapor no processo de regeneração dentro da autoclave. O processo é conduzido com vapor direto em pressões em torno de 20 kgf.cm<sup>-2</sup> por tempo 3 horas, via de regra.
- Processo de alta pressão - neste método as autoclaves são verticais, sendo que o resíduo é colocado em cestos metálicos perfurados. As pressões são ao redor de 40 kgf.cm<sup>-2</sup> por um tempo de, aproximadamente, 30 minutos.
- Método de digestão dinâmica - o material para reciclagem é colocado dentro de uma autoclave, chamada de digestor, equipamento provido de um sistema de pás rotativas que gira a baixa rotação. O vapor tem contato direto com o material com pressões ao redor 25 kgf.cm<sup>-2</sup> por 2 a 3 horas.

Uma nova técnica relatada por Serrano (2002) em seu trabalho é a da reciclagem chamada *De-Link* que foi registrada por Kohler, R. (1997), empregando um produto patenteado *De-Vulc®* por SEKHAR (1995) para remover o enxofre da borracha. O procedimento consiste em colocar o produto na concentração de 6 partes da pasta para 100 de resíduos em temperatura inferior a 50 °C entre 7 e 10 minutos em misturador aberto ou fechado.

Dentre as técnicas modernas de reciclagem química os resíduos são imersos em um fluido e aplicado uma fonte de energia ultrasônica de 50 kHz por 20 minutos, aproximadamente (OKUDA & HATANO apud ALVARADO, 2007).

Conforme Serrano (2002) os pesquisadores Levin & Isayev et. al. (1996) aplicaram diferentes amplitudes de oscilações ultrasônicas em temperaturas variadas e conseguiram a desvulcanização em tempos reduzidos (menos de segundos). O dispositivo fornecia vibração longitudinal com frequência de 20 KHz, sendo que as amplitudes de ultrassom foram de 5, 7,5 e 10 µm. A pesquisa demonstrou que as amostras revulcanizadas ainda apresentam propriedades mecânicas adequadas para muitas aplicações.

O ataque biológico ao látex de borracha natural é bastante fácil, mas a presença de enxofre e outros ingredientes reduzem sua eficiência. Uma técnica foi patenteada por Straube et. al. (1994) de regeneração, usando o processo biológico que consiste em tratar os resíduos finamente triturados em suspensão numa solução aquosa com bactérias, por exemplo, o *thiobacillus rodococcus* e o *sulfolobus*, em ambiente oxidante que digerem o enxofre e seus compostos, em pequena escala, num prazo de até 40 dias (Cal Recovery, 2004). O resultado é um material reciclado que pode ser adicionado até 15% em pneus novos sem prejudicar sua qualidade (LAGARINHOS & TENÓRIO, 2008).



Outra abordagem, conforme Lagarinhos e Tenório (2008) é a regeneração por microondas, que consiste em aplicar energia térmica de forma rápida e uniforme sobre o resíduo. Essa técnica possui limitações, pois a composição deve possuir características polares para permitir a absorção da radiação a uma taxa que viabilize a desvulcanização.

#### **2.3 Reciclagem energética**

A incineração com recuperação de energia representa uma alternativa de reciclagem, sendo um processo oxidante, temperaturas controladas acima de 900°C, tempo de residência e mistura de resíduos traz inúmeras vantagens, tais como produção de energia e redução de até 90 % de volume e 75 % em massa de resíduo (MIRANDA, 2009).

Os entraves para uso desta alternativa, além dos aspectos técnicos e econômicos, tem sido a questão ambiental, porque como refere Spinacé e De Paoli (2005) “polímeros que contenham halogênios (cloro ou flúor) em suas cadeias podem causar problemas durante a combustão devido à liberação de HCl ou HF, podendo também ser uma fonte de emissão de dioxinas”.

Inúmeras formas de termalização dos resíduos de borracha tem sido empregadas, dentre elas o co-processamento em fornos de cimenteiras, rochas de xisto pirotetuminoso e em caldeiras.

Co-processamento é conceituado como a utilização de resíduos pelo seu gerador em outro processo, sendo que agregue valor como matéria-prima ou como energia (Degré, J. P., apud LAGARINHOS & TENÓRIO, 2008). Conforme estes autores há uma série de vantagens no co-processamento em fornos de cimenteiras, sendo: geração de teores menores de SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> comparativamente aos demais combustíveis, meio alcalino e presença de sulfatos dificultam a formação de dioxinas e furanos e redução entre 10 e 30 % no consumo dos combustíveis não-renováveis.

A partir de 1998 a Petrobras desenvolveu o processo Petrosix, onde borracha de pneu triturada é adicionada ao xisto, na proporção de 5 % de resíduo para 95 % de rocha de xisto que por meio de pirólise a 480°C gera gás e óleo (LAGARINHOS & TENÓRIO, 2008; PIEROZAN, 2007). Por este processo em cada 1 tonelada de pneus co-processados resultam em: 530 kg de óleo, 40 kg de gás, 300 kg de negro de fumo e 100 kg de aço. Sob o ponto de vista ambiental, o processo evita emissões gasosas para a atmosfera por injeção de gases inertes, como o N<sub>2</sub> e pelo emprego de separação por ciclone e filtro precipitador eletrostático.

Os resíduos de borracha também podem ser usados como combustíveis em caldeiras e segundo Lagarinhos e Tenório (2008) o consumo de pneus para essa finalidade é de 150.000 por mês, numa mistura de 5 % para 95 % de bagaço de cana-de-açúcar. Sendo que em 2004 a quantidade chegou 1,8 milhões de pneus. Os autores referem que o custo para termalização em caldeira é de US\$ 14,00 por tonelada. A energia para produzir um pneu é de 32,0 kWh.kg<sup>-1</sup>, ou seja, quase quatro vezes a energia liberada (9,0 kWh.kg<sup>-1</sup>) durante a termalização de seu resíduo (DIERKS, apud RESCHNER, 2008).

Pode-se verificar conforme Lagarinhos e Tenório (2008) uma pequena desvantagem na desvulcanização química comparada com a por ultra-som. Tanto num processo como noutro a capacidade é de 34 kg.h<sup>-1</sup>, porém o custo no método químico é de 166, enquanto no ultra-som é de 163 US\$ x 10<sup>3</sup>, assim como custo de operação e manutenção são menores, 172 e 136 US\$ x 10<sup>3</sup>, respectivamente.

De acordo com tabela 1 o processo criogênico sob o ponto de vista energético e custo de manutenção é mais viável, embora o processo a temperatura ambiente apresente uma melhor morfologia e distribuição de partícula.



Tabela 1: Comparação entre o processo a temperatura ambiente e criogênica

Parâmetro	Ambiente	Criogênico
Temperatura de operação, ° C	máx.- 120	Abaixo de - 80
Princípio de redução do tamanho	corte, rasgamento, cisalhamento	Quebrar pedaços de borracha fragilizados criogenicamente
Morfologia da partícula	esponjoso e áspero, superfície específica elevada	uniforme e suave, a superfície específica baixa
Distribuição do tamanho de partícula	Relativamente estreita, Limitada pela etapa de moagem.	É larga( 10 mm a 0,2 mm) em Uma etapa de processamento
Custo de manutenção	Alto	Baixo
Consumo de eletricidade	Alto	Baixo
Consumo N <sub>2</sub>	N/A	0,5 – 1,0 kg N <sub>2</sub> / kg de pneu

Fonte: W. Dierks, apud Reschner, K., Scrap Tire Recycling

Sob o aspecto de aplicação de borracha reciclada as propriedades do composto são reduzidas, porém não há diferenças significativas de desempenho independentemente do processo de reciclagem conforme pode ser visto na tabela 2:

Tabela 2: Influência do pó, de acordo com o processo de moagem

	Referência	Criogênico	Mecânico	Relastômero
Dureza, Shore A	58	55	57	56
Tensão de Ruptura, MPa	25,0	17,1	16,8	17,7
Alongamento Ruptura, %	740	640	620	680
DPC, % - Deformação Permanente por Compressão	17	24	27	25
Resistência à Abrasão, mm <sup>3</sup> /40m	103	122	121	129

Fonte: Centro Tecnológico do Polímero, 2007 (Adaptado pelo autor).

### Conclusão e sugestões para trabalhos futuros

Procurou-se repassar pelos princípios básicos dos processos de reciclagem de borracha, primeiramente discutindo o conceito de borracha regenerada e logo se depreende que o termo usado é inadequado, porque o produto obtido é um material que tem a possibilidade de ser revulcanizado, mas que continua com o enxofre em sua estrutura, quando se emprega processos térmicos. O que há nesse caso é uma redução nos impedimentos estéreis devido as quebras das pontes nas ligas duplas.

Na reciclagem química ocorre a devulcanização, mas mesmo por essa técnica é discutível a questão da regeneração no sentido estrito do termo, pois os mecanismos de cura apresentam diversas teorias devido a complexidade dos fenômenos envolvidos. Essa dificuldade em aceitar que a borracha volta à condição original resulta da constatação de que há perdas nas propriedades, quando comparado com as originais. A reciclagem mecânica ainda é a mais adotada por diversas razões, dentre elas, econômicas, técnicas e ambientais.

### Referências

ALVARADO, M. Tire Rejuvenation: Efficient Ways to Reuse and Devulcanize Industrial Rubber. Disponível em: <<http://cosmos.ucdavis.edu/archives/2007/cluster8/alvarado.pdf>> acesso em: 06 de novembro de 2011.



BARRETO GOMES, D. E. Estudo Sobre a Reciclagem na Indústria Automotiva e sua Inserção em um Ambiente Virtual de Ensino. Disponível em: <[http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie\\_anais\\_IX\\_jic\\_2001/Dennys.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_IX_jic_2001/Dennys.pdf)> acesso em: 16 de outubro de 2011.

BLOW, C.M., HEPBURN, C. (ed); WEBSTER, J. G. Rubber Technology and Manufacture. 2ed. Inglaterra: Butterworthm Scientific, 1982. p.3.

Cal Recovery, Inc. – “Evaluation of Waste Tire Devulcanization Technologies”, Integrated Waste Management Board: Sacramento (2004).

CHAPMAN, A.V., Borracha Natural e Vulcanização: Novas Tendências. 2011. São Leopoldo. Centro de Tecnologia de Polímeros SENAI-CETEP, 2011.p.37

Compromisso Empresarial para Reciclagem – Cempre – Disponível em: <[http://www.cempre.org.br/ft\\_pneus.php](http://www.cempre.org.br/ft_pneus.php)> acesso em: 23 de outubro de 2011

GOMES FILHO, C. V. Levantamento do Potencial de Resíduos de Borracha no Brasil e Avaliação de sua Utilização na Indústria da Construção Civil. Curitiba: Instituto de Engenharia do Paraná, 2007. Dissertação de mestrado em Tecnologia. Curitiba, 2007.

GRISON, E.C., HOINACKI, E. e MELLO, J. A. B., Curso de tecnologia da Borracha. 1 ed. Porto Alegre: Gráfica e Editora NBS Ltda.1984.v.1. p.10.

LAGARINHOS, C. A. F., TENÓRIO J. A. S. Tecnologias Utilizadas para a Reutilização, Reciclagem e Valorização Energética de Pneus no Brasil, 2008. Polímeros. Vol.18 no. 2 .São Carlos, abr/jun 2008.

MILES, D.C., BRISTON. J.H. ed. Universidade de São Paulo. Tecnologia dos Polímeros. São Paulo, 1975. p. 364.

MIRANDA, M.N.M.M., Reciclagem Termoquímica de Resíduos de Plásticos

e de Pneus por Pirólise. Portugal: Universidade de Aveiro. Dissertação de doutorado em Ciências Aplicadas ao Ambiente, 2009

MORTON, Maurice, American Chemical Society, Rubber Division. Rubber Technology. 3 ed. London; New York: Chapman & Hall, 1995, ©1987. p.179. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=vGl4yg2Xg0YC&oi=fnd&pg=PA179&dq=John+Priestley+1770&ots=QnLeccIsik&sig=rismw255Mrs-cGVUOKjL3GGGOiZg#v=onepage&q&f=false>> Acesso em: 16 out. 2011.

PIEROZAN, N. J. 2007. Reciclagem de Resíduos de Borracha. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MjM5>>, acesso em: 16/10/2011.

RESCHNER, K. Scrap Tire Recycling. Disponível em: <<http://www.entire-engineering.de>> acesso em: 16 de outubro de 2011.

SERRANO, C. L. R. Reciclagem de Elastômeros. Porto Alegre: Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais PPGEM. Trabalho realizado como requisito para obtenção de grau na disciplina de Tópicos.Especiais em Polímeros. Porto alegre, 2002

WEBER, Tatiana. Revulcanização de Rejeito Indústria de Copolímero de Butadieno e Estireno (SBR). Caxias do sul: UCS, 2006. Dissertação de mestrado em Materiais. Caxias do Sul, 2006.