

ÁREA TEMÁTICA:

**PROPOSTA DE VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA SILICONADA, PRÉ-VULCANIZADOS, PROVENIENTES DAS INJETORAS DE UMA INDÚSTRIA DE BORRACHA**

*Daniel Vieira Reis (daniel.segreis@gmail.com<sup>1</sup>, Joice Pinho Maciel<sup>2</sup> (joicemaciel14@gmail.com), Daiane Calheiro<sup>3</sup> (dcalheiro@unisinis.br), Carlos Alberto Mendes Moraes<sup>3</sup> (cmoraes@unisinis.br),*

*1 Consultor de Meio Ambiente*

*2 Bolsista CNPq/DAI Universidade do Vale do Rio dos Sinos/Unisinis.*

*3 Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil/PPGEC, Escola Politécnica, Universidade do Vale do Rio dos Sinos/Unisinis.*

**RESUMO**

Este estudo de caso pretende apresentar a valorização de resíduos de borracha de silicone (RBS) provenientes de injetoras de uma empresa do setor de borracha, baseando-se no Nível 3 da metodologia de Produção Mais Limpa (reciclagem externa). Conforme as análises físicas e estruturais realizadas no RBS, foi possível identificar características importantes do material que viabiliza o seu uso. A fabricação de produtos com a utilização do RBS é viável, uma vez que, o resíduo de borracha siliconada apresenta características aceitáveis e muito próximas do composto original. Com a valorização do resíduo, reduz a quantidade e os custos de aquisição de matéria-prima, minimiza-se a disposição dos resíduos, o que diminui a pressão sobre os aterros industriais e ainda se gera lucro com a venda dos compostos para os clientes do ramo da borracha, com potencial de uso para produção de artefatos de borracha. O estudo de viabilidade econômica do RSB apontou um ônus de R\$ 16.919,34, com a geração do RBS e destinação final do mesmo para aterro industrial. Com a venda a R\$ 7,00 o kg do RBS para a reciclagem externa, os ganhos podem chegar a R\$ 33.339,00 do RBS valorizado. Percebe-se que, é vantajoso para a empresa a venda do RBS, uma vez que, o resíduo depois de passado pelo processo de reciclagem interna, tem seu valor de venda aumentado devido a qualidade final do produto a ser comercializado.

**Palavras-chave:** Borracha siliconada; Resíduo sólido; Valorização; P+L.

**PROPOSAL FOR THE VALUATION OF SILICONATED RUBBER WASTE, PREVULCANIZED, FROM INJECTORS IN A RUBBER INDUSTRY**

**ABSTRACT**

This case study intends to present the valorization of silicone rubber waste (RBS) from the injectors of a rubber company, using Level 3 of the Cleaner Production methodology (external recycling). According to the physical and structural analyzes carried out in the RBS, it was possible to identify important characteristics of the material that makes its use possible. The manufacture of products with the use of RBS is feasible, since the silicone rubber residue has acceptable characteristics and very close to the original compound. With the recovery of the waste, it reduces the quantity and costs of acquiring raw material, minimizing waste disposal, which reduces pressure on industrial landfills and still generates profit from the sale of the compounds to customers of the rubber branch, with potential of use for the production of rubber artifacts. The economic feasibility study of the RSB showed a burden of R\$ 16,919.34, with the RBS generation and final destination of the same for industrial landfill. With the sale at R\$ 7.00 per kg of RBS for external recycling, the gains can reach R\$ 33,339.00 from RBS valued. It is perceived that it is advantageous for the company to sell the RBS since the residue after being passed through the internal recycling process has its sales value increased due to the final quality of the product to be marketed.

**Keywords:** Silicone rubber; Solid waste; Valorization; P+L.

## 1. INTRODUÇÃO

A borracha é um material amplamente aplicado para usos industriais, tais como na manufatura de pneus, componentes e peças automotivas, produtos para uso médico e paramédico, adesivos, calçados e muitos outros. Devido às suas características, existe uma crescente preocupação com o descarte dos resíduos deste material, visto que seus polímeros não se decompõem com facilidade. A disposição final ou tratamento inadequado da borracha, pode causar impactos ambientais, como a poluição do solo, água e ar.

Há indícios que antes de 1750 algumas denominações remetem a utilização da borracha por tribos peruanas, Hevea, Olli, Ulli ou ainda Cauchuc ou Caoutchouc, do idioma culto dos Incas, que significa “mato que chora” ou “lágrima das árvores”. (FONSECA, 1950).

Conforme Fonseca (1950), este polímero é uma emulsão aquosa quando em seu estado natural, e é obtido através da extração do látex de algumas espécies de plantas mediante corte do caule ou maceração de folhas que com a adição de produtos químicos ocorre à coagulação deste líquido, transformando-o no produto que conhecemos como borracha natural.

A borracha natural é muito utilizada para fabricação de materiais e equipamentos para o setor elétrico, pois apresenta ótima característica isolante. (ABNT, 1989). Na sua condição natural, a borracha não encontrou muita aplicação na indústria, porque suas propriedades são muito fracas, no calor se torna muito flexível e no frio muito rígido. (BLOW & HEPBURN, 1982).

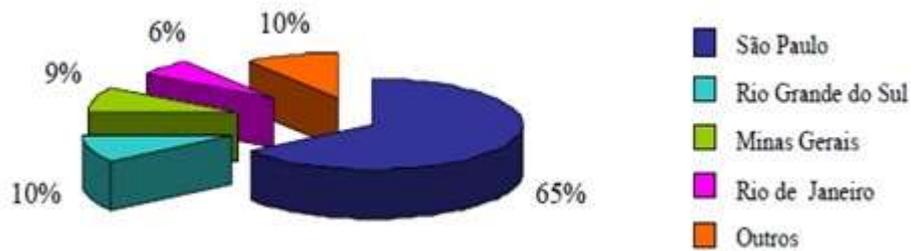
Ao longo do tempo várias pesquisas e testes foram aplicados à borracha, e esta passou a ser reticulada com agentes químicos, como enxofre, por exemplo, que modifica a estrutura e dá maior estabilidade termomecânica. Este processo chama-se vulcanização e foi descoberto “por acaso” por Goodyear em 1840. Após este processo a borracha passa a ser um termo fixo e suas novas propriedades conferem muitas vantagens na utilização. Porém, torna-se muito difícil sua reciclagem, visto que mesmo depois de aquecida ela não volta a ter as mesmas características. (MILES & BRISTON, 1975).

Frente aos desafios do comércio, a borracha se tornou de extrema importância para o mercado automotivo, que tem investido em novas tecnologias e desenvolvido materiais e produtos para atender este importante setor da indústria. Esse resíduo é bastante utilizado no setor industrial, e a sua geração e o seu descarte passaram a ser um desafio para a saúde pública e ambiental. Conforme Vital; et. al. (2014), o custo e a manutenção de aterros aumentaram muito, e a capacidade de um aterro atender uma região por determinados anos, muitas vezes acaba por saturar antes do tempo.

No Brasil, o setor da borracha representa aproximadamente 1% da indústria de transformação, contando com um número superior a 4.000 estabelecimentos industriais. E se tratando do parque industrial gaúcho, o setor da borracha, é o segundo mais importante do País, sendo superado apenas por São Paulo, que conta com mais de 400 empresas que geram cerca de 10.000 postos de trabalho (SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DE ARTEFATOS DE BORRACHA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2009).

A distribuição das indústrias de borracha pelos estados brasileiros é apresentada no gráfico apresentado na Figura 1.

**Figura 1.** Distribuição das Indústrias de Borracha nos Estados Brasileiros



Fonte: Adaptado dos dados da ABIARB (2009)

As rebarbas e as peças de borracha são os principais responsáveis pelo aumento de resíduos de borracha nos processos produtivos de injeção e compressão das empresas do ramo. Não obstante, uma das problemáticas enfrentadas na gestão desse material é sobra de processo, que, por falta de alternativas de reaproveitamento e reciclagem, acabam sendo destinadas aos aterros industriais. Conforme dados de processo do referido estudo, foi identificado que, em torno de 30% do resíduo processado de borracha são destinados aos aterros industriais. Tendo em vista este cenário, a valorização por meio da reciclagem dos resíduos oriundo do processo de produção de peças de borracha siliconada, passa a ser uma solução para geração desse resíduo.

Considerando que a geração de resíduos de borracha no processo produtivo de uma indústria é contínua, a aplicação de ferramentas de gestão ambiental a exemplo da Produção mais Limpa, tornou-se essencial para a recuperação desses resíduos, que antes, estavam sendo destinados aos aterros industriais.

A Produção mais Limpa é aplicada nos processos através da conservação de matérias-primas, água e energia, na eliminação de matérias-primas tóxicas e redução na fonte, na quantidade e toxicidade de emissões e dos resíduos gerados, bem como do melhor aproveitamento de matérias-primas e redução dos seus impactos negativos ao longo de seu ciclo de vida (GASI et. al. 2013).

A produção mais limpa é caracterizada por níveis de ações, sendo eles: Nível 1, de ações prioritárias de redução na fonte; Nível 2 voltada para a reciclagem interna e; Nível 3, voltada para reciclagem externa (CNTL, 2003). Para o referido estudo foi utilizado o nível 3 de ação da Produção mais Limpa.

## 2. OBJETIVO

Apresentar um estudo de caso de valorização de resíduos de borracha de silicone (RBS) provenientes das injetoras de uma empresa do setor de borracha, usando o Nível 3 da metodologia da Produção Mais Limpa.

## 3. METODOLOGIA

O método de pesquisa foi construído a partir de levantamento exploratório, análises, levantamento da área estudada, bem como de um levantamento bibliográfico sobre o tema. O método exploratório é necessário para se investigar sobre o assunto, para que o levantamento de informações traga ao investigador a natureza do fenômeno que identifique de forma mais precisa as variáveis na qual se deseja estudar. (KÖCHE, 2012).

O estudo ocorreu em uma empresa de artefatos de borracha localizada na região do Vale do Rio dos Sinos, considerada uma empresa brasileira com forte atuação na América Latina, do ramo de borracha e termoplástico. Atualmente esta unidade fabril, no estado Rio Grande do Sul, emprega aproximadamente 350 pessoas, e dispõe de laboratórios para desenvolvimento de projetos, visando desenvolver tecnologias inovadoras para seu segmento.

### 3.1 Amostragem

A separação do resíduo RBS (Figura 1) para posterior caracterização foi coletado nos dias 20 e 22 de julho de 2016, dias escolhidos de forma aleatória, pois o resíduo é gerado diariamente na empresa. O resíduo foi coletado direto da fonte de geração, onde foram colocados em sacos

plásticos e encaminhados para o Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento (LPD) da própria empresa, para realização dos ensaios, conforme a Figura 3. Fluxograma metodológico. A geração RBS no processo estudado depende muito do número de cavidades do molde, pois quanto mais cavidades, maior será a geração de resíduos. Após a amostragem, o material foi encaminhado para o LPD da empresa para ser analisado física e estruturalmente.

Figura 2. Fluxograma Metodológico



Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3.2 Caracterização da amostra do Resíduo de Borracha Siliconada

Foram utilizadas diversas técnicas de caracterização física e estrutural do RBS, as quais pode-se citar: Ensaio de Tração, Densidade Hidrostática, Dureza, Curva reométrica e Resistência dielétrica, os quais foram realizados no LPD da empresa, conforme segue:

#### 3.2.1 Dureza

A fim de obter a resistência que o material oferece à penetração de um corpo-de-prova determinado sob uma carga de compressão definida, foi utilizado o Durômetro Shore A da marca Microtest 7206 D (Figura 3), conforme norma ASTM D 2240.

#### 3.2.2 Curva Reométrica (CR)

Este método é usado para determinar as características de vulcanização de compostos de borracha vulcanizáveis (LOVISON, 2003). Uma amostra do composto de borracha não vulcanizado é colocada em uma cavidade, que é fechada e mantida em temperatura elevada. A cavidade é formada por duas matrizes, uma delas oscilante, a qual gera um torque, responsável pela geração da CR estabelecida pela relação torque x tempo. Foi utilizado o equipamento Reômetro, modelo SRCM da marca Tecnologia Industrial, conforme norma ASTM D 5289 (Figura 4).

#### 3.2.3 Densidade Hidrostática (DH)

A densidade de um corpo é a razão entre sua massa e seu volume (SALES, 2012). A densidade é propriedade que pode ser determinada rapidamente e ser empregada para apurar alterações físicas e/ou química dos materiais.

Para determinar a densidade hidrostática dos materiais utilizou-se os seguintes equipamentos (Figura 5), e baseou-se na norma ASTM D 297.

- a) Balança com resolução de 0,1 mg;
- b) Copo de béquer de 250 ml;
- c) Mesinha auxiliar;
- d) Água deionizada álcool etílico.

#### 3.2.4 Resistência à Tração (RT)

O ensaio de tração consiste em submeter um corpo de prova a uma solicitação de tração até a ruptura, registrando-se a carga em uma função de deformação (LOVISON, 2003). Este ensaio fornece a impressão digital de uma composição de borracha. Indica, por exemplo, se os ingredientes de uma composição foram incorporados na borracha na quantidade adequada.

Conforme a norma ASTM D 2000, o ensaio de tração é conduzido com auxílio de um dinamômetro (Figura 6), onde o corpo de prova é preso em “garras” e esticado até sua ruptura.

### **3.2.5 Teste de Rigidez Dielétrica (Alta Tensão)**

Rigidez dielétrica é o gradiente de voltagem no qual ocorre a falha dielétrica no material isolante sob condições determinadas, ou seja, quando a corrente elétrica consegue passar através do material, ocasionando o rompimento da amostra.

O ensaio consiste em posicionar o CP (Corpo de Prova) entre os eletrodos e imergí-los no recipiente com óleo isolante, certificando que todo o CP esteja coberto pelo óleo. Então, deve-se girar a manopla em sentido horário elevando a tensão até que ocorra a ruptura do CP, que é percebido através de um pico de tensão no kilovoltímetro, com um som característico e o desarme da fonte no painel do equipamento. Foi utilizado o equipamento de alta tensão (Figura 8), e baseou-se na norma ASTM 149, método A. Para obter o valor de Rigidez Dielétrica foi usada a fórmula abaixo:

Resistência Dielétrica =  $T_a / e^*$  (mm)

Onde:  $T_a$  = Tensão aplicada (kV/mm) e = espessura do corpo-de-prova

Figura 3. Amostra de RBS



Fonte: Acervo autores

Figura 4. Equipamento Durômetro



Fonte: Acervo autores

Figura 5. Equipamento Reômetro



Fonte: Acervo autores

Figura 6. Equipamentos para ensaio de densidade Hidrostática



Fonte: Acervo autores.

Figura 7. Equipamento Dinamômetro



Fonte: Acervo autores.

Figura 8. Equipamento de Alta Tensão



Fonte: Acervo autores.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A medição de dureza no RBS (Figura 4), apresentou um resultado de 57 Shore A, ficando dentro do estabelecido pela ASTM D 2240 que é de 54 a 58 Shore A para este tipo de composto.

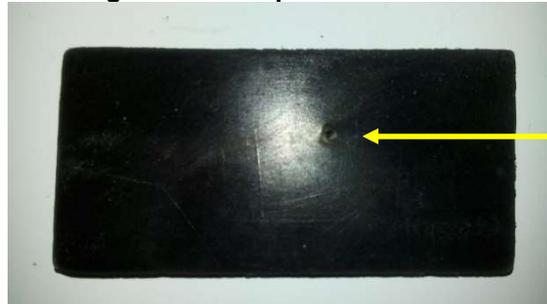
A avaliação da curva reométrica do RBS (Figura 5), apresentou resultados dentro do estabelecido pela Norma ASTM D 5289 para este tipo de composto.

A avaliação da Densidade Hidrostática do RBS (Figura 6), apresentou um resultado de 1,191 g/cm<sup>3</sup> ficando dentro do estabelecido pela Norma ASTM D 297 que é de 1,050 g/cm<sup>3</sup> á 2,150 g/cm<sup>3</sup>.

Os ensaios de RT do RBS (Figura 7), apresentou resultados de tensão de ruptura mínimo na faixa de 7,0 Mpa a 7,4 Mpa ficando dentro do estabelecido na Norma ASTM D 2000 que é de no mínimo 5 Mpa. O alongamento ficou na faixa de 379 % a 416 %, portanto dentro do estabelecido na Norma ASTM D 2000 que é de no mínimo 200%.

Foi realizado o Teste de Rigidez Dielétrica (Figura 8) a fim de obter o valor de falha do material isolante (RBS), quando aplicado uma alta tensão. Foi aplicado uma tensão de 37,9 KV em um CP de espessura 1,90 mm, até o rompimento do RBS (Figura 9).

**Figura 9 – Rompimento do RBS**



*Fonte: Acervo do Autor.*

O resultado da Rigidez dielétrica do RBS ficou em 19,94 KV/mm, e de acordo com o estabelecido na Norma ASTM D 149, método A que é maior que 15KV/mm.

Os resultados de todos os ensaios viabilizaram a diluição bem como potencial de comercialização do RBS para a fabricação de artefatos de borracha.

Foram identificadas duas alternativas apresentadas para a valorização do resíduo de RBS, sendo elas:

- **Reciclagem interna:** Após o processo de valorização o resíduo pode ser aproveitado como subproduto e usado na fabricação de peças automotivas para reposição (peças que não exigem tantas características de segurança na sua composição final).
- **Reciclagem externa:** Após o processo de valorização o RBS pode ser comercializado como matéria-prima para empresas que produzem peças menos nobres na indústria do varejo como tapetes, protetor para pés de cadeira, chinelos.

Ressalta-se que este estudo visa discutir apenas o Nível 3 da metodologia da Produção Mais Limpa, ação para a reciclagem externa.

Com os resultados obtidos, também foi realizado um levantamento de viabilidade econômica do RBS. No período de um ano foi gerado 4,77 t de RBS, sendo que, para confeccionar uma peça de borracha siliconada (PBS) é necessário 1 Kg de RBS. Portanto em um ano 4.77 t de PBS deixou de ser produzida, ocasionando uma perda financeira de R\$ 14.310,00, já que cada peça custa R\$ 3,00.

Soma-se a essa perda financeira, as despesas de destinação final do RBS, que é de R\$ 0,42 Kg, que foi de R\$ 2006,34, mais o transporte até a unidade de destinação que totalizou R\$ 600,00 no mesmo período. Sendo o somatório das duas atividades o valor de R\$ 2.606,34.

Verifica-se então um ônus de R\$ 16.919,34, com a geração do RBS no período de um ano.

Com a implementação da ação Nível 3 da metodologia de Produção mais Limpa, para a reciclagem do RBS, tem-se ganhos significativos com a comercialização do RBS conforme dados a seguir:

Com a venda de 4,77 t de RBS gerados pode-se chegar ao valor de venda de R\$ 7,00 o kg do RBS, o que totalizou R\$ 33.339,00 com a venda do RBS valorizado. Percebe-se que, após o levantamento de custos, é vantajoso para a empresa a venda do RBS, pois o resíduo depois de passado pelo processo de reciclagem interna, tem seu valor de venda aumentado devido a qualidade final do RBS a ser comercializado.

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados foram obtidos através de análises realizadas em laboratório, essas análises foram comparadas com a literatura existente, e foi possível fazer algumas conclusões.

As análises físicas e estruturais apontaram características importantes dos materiais em estudo, deixando evidente a semelhança dos resultados entre os dois compostos do RBS, o que viabiliza o seu uso.

Entende-se que o resíduo borracha pré-vulcanizada siliconada tem grande valor agregado, pois para o seu reaproveitamento como matéria prima, onde a exigência de propriedades de segurança e contaminações sejam menores, são necessários alguns outros procedimentos passando pela segregação e encaminhamento, até atingir sua forma final.

Visto isso, pode-se concluir que a fabricação de produtos com a utilização do RBS é viável, já que o resíduo de borracha siliconada apresenta características aceitáveis e muito próximas do composto original.

Uma vez valorizado o resíduo, reduz a quantidade e os custos de aquisição de matéria-prima, minimiza-se a disposição dos resíduos, o que diminui a pressão sobre os aterros industriais e ainda gera-se lucro com a venda dos compostos para os clientes do ramo da borracha, com potencial de uso para produção de artefatos de borracha como: tapetes, protetor para pés de cadeira, chinelos e pneus para carrinho de mão.

Com a valorização do resíduo de RBS, foi possível aplicar a ferramenta de gestão ambiental Produção mais Limpa nível 3, de reciclagem externa dos resíduos para posterior utilização.

## **AGRADECIMENTOS**

Autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Programa Doutorado Acadêmico para Inovação – DAI, em proporcionar bolsas de estudo para realização desses estudos.

## **REFERÊNCIAS**

ASTM – American Society for Testing Materials. ASTM D 2000 Approved by of Automotive Engineers SAE Recommended Practice J200 Standard Classification System for Rubber Products in Automotive Applications.

ASTM – American Society for Testing Materials. ASTM D 2240. Standart test method for rubber propety, durometer hardness, 2010.

ASTM – American Society for Testing Materials. ASTM D 297. Standart test methods for rubber products, 2010.

ASTM – American Society for Testing Materials. ASTM D 5289. Standart test method rubber property, 2010.

ASTM – American Society for Testing Materials. ASTM D 149. Standat test method for dielectric breakdown voltage, 2013

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

GASI, Tânia Mara Tavares; FERREIRA, Edson. Produção mais limpa. In: DEMAJOROVIC, Jacques. VILELA Junior, Alcir (Org.). **Modelos e ferramentas de gestão ambiental: desafios e perspectivas para as organizações**. 2 ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2006.

FONSECA, Cassio. A economia da borracha: aspectos internacionais e defesa da produção brasileira. Rio de Janeiro: n.d,1950.

KÖCHE, José Carlos. Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação a pesquisa. 30. ed. Petrópolis: Vozes, 2012. 182p.

LOVISON, Viviane M. H. Introdução ao Processo de Pesagem na Indústria da Borracha. Centro Tecnológico de Polímeros, SENAI, 2001.

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

VITAL, Marcos H. F.; INGOUVILLE, Martin; PINTO, Marco Aurélio Cabral. Estimativa de investimentos em aterros sanitários para atendimento de metas estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos entre 2015 e 2019. 2014. Disponível em: <[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/3041/1/Estimativa%20de%20investimentos%20em%20aterros%20sanitarios\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/3041/1/Estimativa%20de%20investimentos%20em%20aterros%20sanitarios_P.pdf)>. Acesso em: 03 nov. 2016.