



Exacta

ISSN: 1678-5428

exacta@uninove.br

Universidade Nove de Julho

Brasil

Cardoso de Oliveira Neto, Geraldo; Carvalho Chaves, Luiz Eduardo de; Vendrametto, Oduvaldo  
Vantagens econômicas e ambientais na reciclagem de poliuretano em uma empresa de fabricação de  
borracha

Exacta, vol. 8, núm. 1, 2010, pp. 65-80  
Universidade Nove de Julho  
São Paulo, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81015201008>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe , Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# Vantagens econômicas e ambientais na reciclagem de poliuretano em uma empresa de fabricação de borracha

*Economic and ambient advantages in the polyurethane recycling in a company of rubber manufacture*

Geraldo Cardoso de Oliveira Neto

Mestre em Engenharia de Produção pela UNIP, pós-graduado em Gestão da Qualidade e Gestão de pessoas, graduado em Administração de Empresas, Professor de Ensino Superior na Graduação da área de Ciências Gerenciais na disciplina de Administração e Suprimentos e Logística na Uninove.  
São Paulo – SP [Brasil]  
geraldo.neto@uninove.br

Luiz Eduardo de Carvalho Chaves

Mestre em Engenharia de produção pela UNIP, pós-graduado em Administração Industrial pela Unitau e Consultor Industrial e Gerente de Projetos da Nortesul.  
São Paulo – SP [Brasil]  
luizchaves@hotmail.com

Oduvaldo Vendrametto

Doutor em Engenharia de Produção pela EPUSP, coordenador e professor Titular de Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UNIP (mestrado e doutorado).  
São Paulo – SP [Brasil]  
oduvaldov@uol.com.br

A crescente conscientização ecológica, preservação ambiental, justiça social e preocupação com as gerações futuras estão diretamente relacionadas à maneira dos empresários processarem seus produtos e serviços. Neste artigo serão apresentadas as vantagens econômicas e ambientais de uma empresa de pequeno porte de fabricação de borracha que implementou a Produção Mais Limpa (P+L) como decisão estratégica na reciclagem de poliuretano em um ciclo fechado a fim de reduzir a poluição. Um estudo de viabilidade técnica, mencionando o benefício financeiro adquirido na reciclagem na produção de borracha, justificou essa decisão. A metodologia de Intensidade de Material do Wuppertal Institute foi aplicada para avaliar os benefícios na escala da biosfera como consequência da redução de emissões por conta da intervenção P+L.

**Palavras-chave:** Ciclo fechado. Fabricação de borracha. Produção Mais Limpa. Reciclagem de poliuretano.

The increasing of ecological awareness, ambient preservation, social justice and concern with the future generations directly are related to how entrepreneurs process its products and services. In this article it will be presented the economic and ambient advantages of a small business company of rubber manufacture that implemented Cleaner Production (CP) as strategical decision in the polyurethane recycling in a closed cycle in order to contribute in the reduction of pollution. A feasibility study technique, mentioning the acquired financial benefit in the recycling in the rubber production justified this decision. The methodology of Intensity of Material of the Wuppertal Institute was applied to evaluate the benefits in the scale of the biosphere as consequence of the reduction of emissions on account of CP intervention.

**Key words:** Cleaner production. Closed cycle. Polyurethane recycling. Rubber manufacture.



## 1 Introdução

Nas últimas décadas do século XX, surgiu uma preocupação de caráter amplo sobre a preservação da natureza. Contribuiu para isso a descoberta de muitos novos materiais e a criação de produtos sem o mínimo de atenção com o ecossistema. Revolucionários em termos econômicos como alguns catalisadores especiais provocaram mudanças radicais na preservação ambiental.

Sendo assim, os materiais sintéticos passaram a ser investigados com o objetivo de substituir os tradicionalmente usados para novos tipos de aplicação. A indústria de polímeros sintéticos teve um crescimento considerado recorde. Nos Estados Unidos, a média de crescimento anual foi de 13% num período de 52 anos (1935-1987) (ZOOPI e DE PAOLI, 1991).

Também surgiram estudos na preparação e propriedades de elastômeros condutores derivados de polipirrol e borracha de EPDM. Esse método permitiu a incorporação de sílica e caolim à borracha, obtendo semirredes interdependentes com condutibilidade elétrica e propriedade mecânica similares às da borracha vulcanizada contendo o mesmo teor de sílica e caolim (ZOOPI e DE PAOLI, 1995).

Scuracchio e Waki (2006) sugerem a reciclagem através da moagem da borracha, e mencionaram que o processo de desvulcanização mostrou-se satisfatório e viável para produzir um material passível de ser moldado, de forma semelhante a uma borracha virgem. Oliveira Neto et al. (2009) complementa que através da reciclagem é possível adquirir vantagens econômicas e ambientais.

A geração de uma grande quantidade de materiais de difícil degradação como plásticos versáteis, borrachas, metais, diz respeito a compósitos que não foram planejados para reuso ou reciclagem que retardasse seu retorno ao ambiente. A remediação de fim-de-tubo não era considerada.

A implementação de unidades de tratamento de poluentes – emissões atmosférica, efluentes líquidos e resíduos sólidos – com o objetivo de reduzir os poluentes antes do descarte no ambiente, iniciou-se na década de 70. Essas tecnologias para o tratamento e o controle dos resíduos no final do processo produtivo são conhecidas como tecnologias de fim-de-tubo ou *end-of-pipe* (OURA e SOUZA, 2007). Trata-se de adicionar a tecnologia ao final dos processos usuais com o objetivo de reduzir as emissões nocivas ao meio ambiente, sem mudanças nos equipamentos existentes (MOORS; MULDER; VERGRAGT, 2005).

O panorama atual tem induzido os empresários a praticar a produção através da gestão ambiental e promover mudança de cultura. A cultura predominante consiste em resultados econômicos vantajosos, relegando a segundo plano o ambiente, negligenciando seus processos e produtos, mesmo em situações em que a agressão ao meio ambiente seja manifestada de maneira irreversível.

Segundo Mano et al. (2005), no início do século XXI, a sociedade depara-se com alguns problemas que eram inexistentes para as gerações anteriores – principalmente o da poluição ambiental – e que alteram suas propriedades naturais. Isso provoca alteração prejudicial à saúde, à segurança e ao bem-estar da população sujeita aos seus efeitos. Braga et al. (2005) reforçam que a poluição é uma alteração indesejável nas características físicas, químicas ou biológicas da atmosfera, litosfera ou hidrosfera.

Conforme a Agência de Proteção Ambiental (Environmental Protection Agency – EPA, 1993), um programa de prevenção à poluição deve considerar: a) a redução ou total eliminação de materiais tóxicos, pela substituição de materiais no processo de produção, pela reformulação do produto e/ou pela instalação ou modificação de equipamentos de processo; b) desenvolvimento de novas técnicas que auxiliem na implantação de programas de

prevenção à poluição; e c) a implantação de ciclos fechados de reciclagem.

Fundamentado nos propósitos descritos pela EPA e na metodologia do Wuppertal Institute (2008), este artigo visa:

- apresentar o processo de reciclagem de poliuretano em um ciclo fechado, transformando-o em matéria-prima;
- Analisar as vantagens econômicas e ambientais presentes no processo de reciclagem em um ciclo fechado na Produção Mais Limpa através da metodologia de Intensidade de Material (Wuppertal Institute).

Com isso, pretende-se prevenir o descarte indevido e reciclar o máximo possível os resíduos gerados na produção de produtos de borracha e contribuir na evolução das práticas de gestão ambiental e a implementação dos propósitos da Produção Mais Limpa no ciclo de atividades industriais.

### **1.1 Produção Mais Limpa (P+L) e Reciclagem em Ciclo Fechado**

Produção Mais Limpa significa a aplicação contínua de uma estratégia econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados, com benefícios ambientais e econômicos para os processos produtivos (UNIDO/UNEP, 1995).

A P+L visa melhorar a eficiência, a lucratividade e a competitividade das empresas, enquanto protege o ambiente, o consumidor e o trabalhador. É um conceito de melhoria contínua que tem por consequência tornar o processo produtivo cada vez menos agressivo ao homem e ao meio ambiente. A implementação da P+L resulta numa redução significativa dos resíduos, emissões e

custos. Cada ação no sentido de reduzir o uso de matérias-primas e energia, prevenir ou reduzir a geração de resíduos, pode aumentar a produtividade e trazer benefícios econômicos para a empresa (GIANNETTI e ALMEIDA 2006).

Outro fator importante que merece exclusividade por se tratar especificamente do assunto desse trabalho se caracteriza pelo processo de reciclagem integrado ao processo produtivo proposto pela P+L. Segundo Furtado (2005), a reciclagem consiste no reaproveitamento do material do qual o resíduo é composto, para a mesma finalidade ou para finalidades distintas de uso, e menciona a necessidade de considerar a reciclagem integrada ao sistema produtivo, evitando a reatividade.

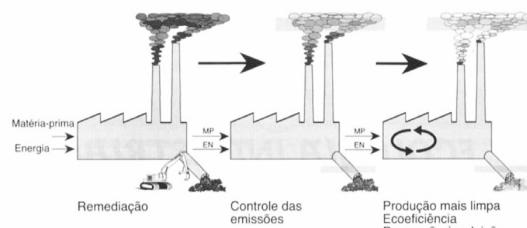
Durante a ECO-92 e a definição da Agenda 21, houve destaque a necessidade urgente de se implementar um adequado sistema de gestão ambiental para os resíduos sólidos, que inclui a necessidade de redução da geração dos resíduos, reutilização e reciclagem dos resíduos gerados (GÜNTHER, 2000).

Moura (2000) relata que as atividades de reciclagem de vários tipos de materiais (metais, vidros, papel, papelão, plástico, pneu etc.) visam preservar matérias-primas e economizar energia no processo produtivo – quase todas as formas de produção de energia geram impactos ambientais significativos, constituindo-se em um aspecto importante ligado ao conceito de desenvolvimento sustentável. Mano et al. (2005) reforçam que a reciclagem é a solução ideal para a despoluição do meio ambiente consiste na desintegração dos produtos descartáveis em partículas, incorporadas ao solo.

Os benefícios potenciais da reciclagem incluem: “1) Redução no consumo de recursos naturais não-renováveis, quando substituídos por resíduos reciclados; 2) Redução do consumo de energia durante o processo de produção; 3) Redução da poluição” (JOHN, 2000) e 4) “Redução de áreas

necessárias para aterro uma vez que os resíduos são utilizados novamente como bens de consumo” (PINTO, 1999).

Na continuidade dos estudos é importante acrescentar que programas de prevenção à poluição englobem técnicas de remediação e não se pretende restringir-se apenas aos tratamentos de resíduo (final de tubo – Figura 1). O conceito mais abrangente consiste na transformação de cadeias industriais de ciclo linear aberto (matérias-primas, produto, resíduos industriais e pós-uso) em cadeias industriais de ciclo fechado, onde os resíduos são reutilizados ou reciclados e o uso de matérias-primas minimizado (HENDRIKS, 2000; JOHN, 2000).

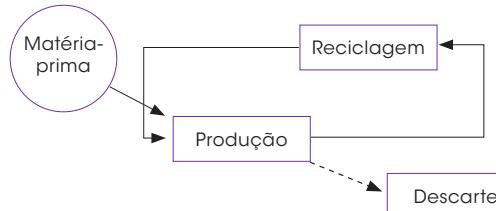


**Figura 1: Algumas respostas do sistema industrial aos problemas ambientais**

Fonte: Giannetti e Almeida, 2006.

O propósito de uma empresa é a transformação de matérias-primas e energias retiradas do ambiente para produzir bens e serviços para os consumidores. O metabolismo industrial deve ser focalizado nas formas de se fazer esse fluxo, mantendo o material circulando no sistema, por meio do reuso e da reciclagem em Ciclo Fechado (Figura 2), de forma a retardar seu retorno ao ambiente, com isso objetiva “reduzir a extração de recursos naturais de maneira ecoeficiente” (YUKSEL, 2007). Portanto, as práticas de P+L reduzem a quantidade de reagentes tóxicos descartados no ambiente, fazendo com que água e matérias-primas, circulem o máximo possível dentro do processo antes do descarte, resultando

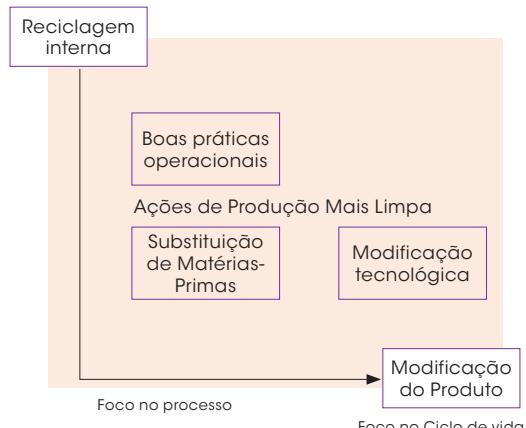
em um melhor aproveitamento de matéria-prima e energia.



**Figura 2: Ciclo Fechado**

Fonte: Odum, 1998 (adaptado pelos autores).

A Figura 3 mostra que as ações de P+L modifica o processo produtivo. Assim objetiva a substituição de Materiais Primas e implementa tecnologias limpas com o foco no ciclo de vida.



**Figura 3: Representação das ações de Produção Mais Limpa como maneira preventiva e responsável**

Fonte: Centro Nacional de Tecnologias Limpas CNTL – SENAI, 2003.

A implementação de um programa de P+L requer monitoramento através de indicadores ambientais e de processo. Segundo Furtado (2005), “a avaliação do ciclo de vida constitui uma ótima ferramenta que objetiva medir a quantidade do impacto por unidade do produto durante a sua vida útil até o descarte. O ideal é que o produto seja utilizado em sua vida útil e no final reciclado

e reutilizado. O maior objetivo é reduzir a obsolescência e aumentar a vida útil dos produtos, sendo assim, apresentam ótimos resultados relacionados à utilização eco-eficiente de recursos, trazendo um completo entendimento do sistema de gerenciamento da empresa". Tsoulfas e Pappis (2008) corrobora e menciona que na atualidade se torna necessário a integração da estratégia do *design* do produto e processo desde a (concepção e projeção). Essa estratégia tem por objetivo fechar os ciclos, visando a prevenção (ideal) ou a minimização da geração de resíduos especialmente os perigosos. Busca-se projetar e desenvolver e recuperar produtos focados na prevenção da poluição.

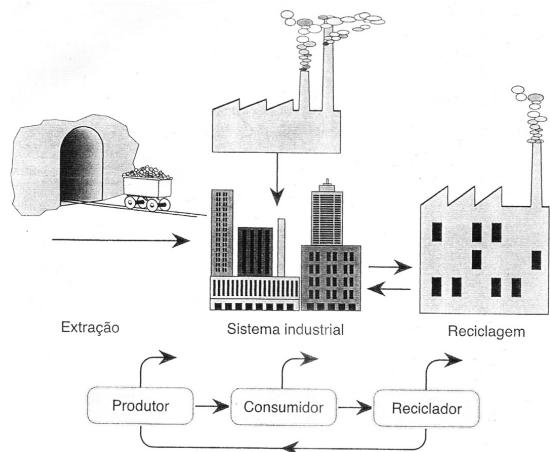
De acordo com o SENAI (2003), as empresas adeptas à P+L obtêm vantagens ambientais e econômicas devido à preocupação de não gerar mais resíduos e emissões que afetem o meio ambiente. Como consequência, reduz gastos desnecessários armazenamento, transporte e local para descarte contribuindo para a imagem da empresa.

Portanto, implementar a P+L na reciclagem de produtos no processo interno de produção, além de contribuir com o ambiente traz benefícios econômicos e de prestígio para a empresa.

O artigo é o resultado de uma pesquisa em que o sistema industrial reduziu a compra de compostos de borracha na fonte, isto é, diminuiu a extração através do reuso e reciclagem da borracha transformando-a em poliuretano. O poliuretano é remanufaturado conforme os padrões técnicos (Tabela 2) junto com a matéria-prima virgem. O maior objetivo da introdução de conceitos de remanufatura é reduzir o descarte de materiais que podem ser reutilizados (ARNDT, 2005).

Para isso foram levantados dados através de testes e ensaios reais em pesquisa exploratória no local pelos autores e, obtidos resultados técnicos da colocação do pó de poliuretano em composto de borracha de maneira não prejudicial à produção dos componentes. O experimento mostrou

possibilidades reais, que podem ser estendidas as indústrias similares, de desenvolverem técnicas de reuso e reciclagem em ciclo fechado. Com isso é possível reduzir recursos financeiros na compra de matéria-prima virgem, além de reduzir os impactos no meio ambiente.



**Figura 4: O ciclo das atividades industriais**

Fonte: Giannetti e Almeida, 2006.

Este estudo relata um modelo de aplicação do conceito de P+L em uma empresa nacional de pequeno porte, fabricante de produtos de poliuretanos e borracha que tem significativa expressão no seu segmento de atuação e que poderá servir de paradigma para outras.

A empresa apoiou a implementação do programa "P+L" como uma decisão estratégica, principalmente na mudança do paradigma sobre a abordagem da questão do refugo.

O projeto visava reciclar o refugo de poliuretano em um ciclo fechado gerado internamente ou oriundos de clientes, através de maquinários e procedimentos específicos, para transformá-lo em mais uma matéria-prima para a produção de compostos de borracha.

A visão objetiva dessa iniciativa era a produtividade com responsabilidade ambiental. Todo o passivo ambiental gerado na fabricação de peças



de poliuretano deveria ser utilizado em formulação de borracha, após preparo como micronização, carga semi-reforçante e testes experimentais de avaliação.

## 2 Materiais e métodos

### 2.1 Caracterização da pesquisa

A metodologia selecionada para avaliar o resultado da implementação da reciclagem de poliuretano em uma empresa de fabricação de borracha consiste, num primeiro momento, por meio de um protótipo, em mostrar o processo de fabricação de poliuretano e de reciclagem. As amostras, após os testes e os ensaios necessários eram registrados a fim de compor uma tabela com dados técnicos e reais. Esses dados de natureza qualitativa e quantitativa foram levantados em pesquisa exploratória *in loco* para verificar as vantagens econômicas da implementação do projeto.

Segundo Gil (2002), a pesquisa exploratória desenvolve: (a) levantamento bibliográfico; (b) levantamento de dados técnicos sobre o estudo pesquisado; e (c) análise e apresentação de exemplos que estimulem a compreensão. Em relação à natureza metodológica, Oliveira (1999) enfatiza que existem duas tipologias básicas: a quantitativa e a qualitativa.

O método do estudo de caso, segundo Fachin (2003), é caracterizado por ser um estudo no local, leva-se em consideração, principalmente, a compreensão, como um todo, do assunto investigado.

Para avaliar as vantagens ambientais será utilizada a metodologia de Intensidade de Material. A seguir, uma breve descrição desta última ferramenta.

### 2.2 Avaliação de intensidade de material

O método, desenvolvido pelo Instituto Wuppertal, pode avaliar as mudanças ambientais associadas à extração de recursos de seus ecos-

sistemas naturais. Desta forma, para suprir com um fluxo de material a um sistema, uma quantidade maior de material foi previamente processada em vários compartimentos ambientais. Os compartimentos são classificados em: abiótico, biótico, água e ar. A quantidade total de material de cada compartimento que foi processado para suprir um dado material denomina-se Intensidade de Material. Para determinar a Intensidade de Material, o fluxo de entrada de massa (expressado nas unidades correspondentes) é multiplicado pelo fator MIF (mass intensity factors) que corresponde à quantidade de matéria necessária para produzir uma unidade de fluxo de entrada. Os valores de MIF usados no presente trabalho estão na Tabela 1, conforme o instituto Wuppertal (2008).

No presente trabalho só os benefícios específicos em economia de material (poliuretano) decorrentes da intervenção P+L são avaliados. Portanto, matéria biótica não foi considerada.

**Tabela 1: Fatores de Intensidade de Material usados no presente trabalho**

	Fatores de Intensidade de Material			
	Material abiótico	Material biótico	Água	Ar
Poliuretano: PU (g/g) <sup>a</sup>	7,52		532,4	3.420

Fonte: Wuppertal, 2008.

### 2.3 O processo de fabricação de poliuretano e sua reciclagem

Segundo Silaex (2010) e Portal São Francisco (2010) em 1937, o professor Otto Bayer e sua equipe desenvolveram um processo que, a partir da reação de dois compostos, resultava um produto, de estrutura macromolecular, hoje conhecida como poliuretano. Eles são normalmente produzidos pela reação de poliadição de um poliisocianato, disponível nas formas alifáticas, aromáticas, ciclo alifáticos ou policílicos e um poliol

(como o etileno glicol, butanodiol, dietileno glicol, glicerol ou trimetil propano) ou um poliol poliéster na presença de catalisador e de materiais para o controle da estrutura das células, os surfactantes, no caso de espumas. Esta flexibilidade de escolha de reagentes permite obter uma infinita variedade de compostos com diferentes propriedades química e física.

Segundo Revjakin et al. (2000) existem diferentes processos de reciclagem de resíduos de poliuretano (PU), tais como: a mistura do PU em resinas termoplásticas de baixa densidade como poli (cloreto de vinil) PVC, polipropileno (PP) e PU termoplástico (TPU), os mesmos autores, Revjakin et al. (1999), apresentam sobre as resinas termoplásticas rígidas: policarbonato (PC) e poli (tereftalato de etileno) PET e também cita outra técnica de reciclagem por compressão à quente. Gerbreselassie et al. (2001) e Modesti e Simione (1996) relatam sobre a reciclagem química do poliuretano através de temperatura elevada, acima da temperatura de transição vítreia da espuma e da carga com rejeitos de fibra de vidro. Neste trabalho micronizou-se poliuretanos elastoméricos, que são utilizados em encapsulamentos eletrônicos, amortecedores, sapatas, revestimentos antiderrapantes e resistente a abrasão, telas, talas, raspadores, revestimento de tubo e de tanque etc.

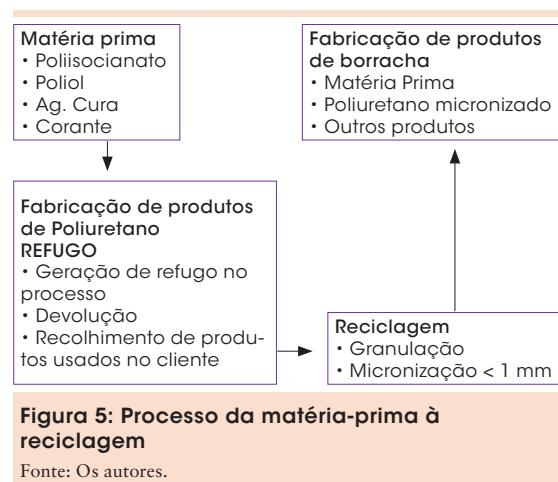
A Figura 5 mostra o fluxograma desde a matéria-prima até a reciclagem, do processo em estudo, ou seja, as matérias primas para a fabricação do Poliuretano, a geração de refugo, a reciclagem do refugo obtido e sua utilização como matéria prima na fabricação de artefatos de borracha.

Esse artigo corrobora na redução da poluição no descarte do lixo polimérico, através da “reciclagem, do reuso e do reaproveitamento de borracha e de materiais residuais” (ADHIKARI e MAITI, 2000), na “busca de soluções para esses problemas ambientais” (JUMPASUT, 2000). Portanto, é possível gerenciar os polímeros descar-

tados por meio da reciclagem mecânica, segundo Patel e Jochen (2000) essa ação visa aproveitar os resíduos de produtos que são manufaturados de polímeros virgens.

Rosa e Guedes (2003) elaboraram um trabalho sobre o processo de reciclagem de poliuretano através de propriedades mecânicas de resistência à tração, a resistência a abrasão e determinação da dureza. Os resultados mostraram que foi possível reciclar proporções de até 1:20 com propriedades de resistência à tração, resistência à perda por abrasão e dureza adequadas para a aplicação de pisos de academia de ginástica e pistas de atletismo. Bom (2008) desenvolveu um trabalho com o objetivo de realizar misturas de poliuretano com diferentes concentrações através da reciclagem mecânica, nesse caso, os resíduos reciclados são provenientes do processo de fabricação de refrigeradores e frízeres. Os resultados foram favoráveis, apesar de apresentar aumento de viscosidade das misturas, isso provocou variação no processo de injeção de plástico, mas sem prejudicar o processo. Outro estudo é apresentado por Zia et al. (2007) que relata sobre a reciclagem de poliuretano e transformação em espuma do assento de automóveis. Mark e Kamprath (2004) corroboram e afirmam que a reciclagem de poliuretano é utilizada em larga escala na empresa automobilística na composição de produtos derivados.

Na literatura após pesquisa intensiva foram encontrados alguns estudos que corroboram com os propósitos desse artigo: Sombatsompob (1999), Karger-Kocsis et al. (2000), Mousa e Karger-Kocsis (2001). Ambos os estudos consistem na reciclagem de poliuretano e a utilização deste como carga de enchimento na fabricação de compostos de borracha conforme especificações técnicas, mas nenhum desses estudos relatam as vantagens ambientais através do cálculo (WUPPERTAL, 2008) asseverando o estado da arte sobre a temática.



## 2.4 Processo de micronização

Gerbreselassie et al. (2001) relata que a primeira etapa em comum na reciclagem de PU é a micronização. Que consiste na moagem de resíduos de poliuretano em partículas entre 6,5 a 12,7 mm.

Em específico, nesse estudo, os refugos de poliuretanos internos não são inspecionados e, se necessário, limpos (retirada de terra, matéria estranha etc.). Em seguida são colocados em uma máquina para serem granulados, triturados de forma a ficar com tamanhos de partícula em torno de 6 a 8 mm. Após este processo, os granulados serão colocados em uma máquina micronizadora reduzindo os grânulos para 0,9 mm. Nestas condições, isentos de umidade e matéria estranha, estão prontos para serem utilizados como matéria-prima em compostos de borracha.

## 2.5 Viabilidade técnica da colocação do pó de poliuretano em composto de borracha

Conforme o Instituto de Pesquisa Tecnológica - IPT (1982) e Hofmann (1989) o pó de borracha é normalmente utilizado como carga de enchimento, que é uma carga que não aumenta muito o peso específico do composto, além de ser compatível,

quando comparado com outras cargas minerais de enchimento como o caulim, talco, carbonato de cálcio etc.

Na Tabela 2 é apresentada a viabilidade técnica da colocação do pó de poliuretano produzido internamente em uma formulação de borracha. A principal diferença entre o pó de borracha e o pó de poliuretano é que este último é incompatível com a borracha e praticamente o poliuretano se comporta como uma carga neutra ao ser incorporado no composto de borracha. O peso específico dele é abaixo das cargas minerais, o que não altera significativamente o peso específico do composto de borracha em que é adicionado, o que faz com que se utiliza menos borracha em peso que com as cargas minerais. Estes dados foram levantados através de testes normatizados e ensaios reais *in loco* pelos autores do presente trabalho tem como objetivo demonstrar uma mesma formulação de borracha que é o padrão e a adição de quantidades diferentes de pó de poliuretano.

**Tabela 2: Resultados técnicos da colocação do pó de poliuretano em composto de borracha**

Testes	Padrão	Adição de poliuretano micronizado		
		5%	10%	15%
Dureza Shore A	65	65	59	61
Modulo 300%	26	24	24	19
Ruptura Kg/cm <sup>2</sup>	118	73	65	58
Alongamento %	833	713	720	736
Rasgo g/cm	33	28	29	27
Abrasão mm <sup>3</sup>	137	95	103	103
P.E. g/cm <sup>3</sup>	1,34	1,29	1,28	1,27

Fonte: Os autores.

A adição do poliuretano micronizado tem um limite e é facilmente verificado visualmente, principalmente nesta granulometria. Conforme vai aumentando a porcentagem de pó de poliuretano, demonstra um aspecto de produto mal incorporado e quando se passa a mão no artefato vulcanizado (pronto), sente-se uma certa aspereza. Isto é um limitador. O outro limitador está relacionado com

as propriedades mecânicas e pelo quadro acima pode-se constatar que:

- Há um início de queda na dureza, mas não é comprometedora – analisa-se segundo a norma (ASTM 2240, 1995) com a utilização do aparelho para medir dureza na borracha denomina-se (Durômetro Shore A). Este tipo de durômetro contém uma escala que vai de 0 a 100. Em sua base existe uma agulha cônicamente que se sobressai. O ponteiro da escala fica na posição zero. Ao ser comprimido, sobre o corpo de prova, a agulha entra no aparelho comprimindo uma mola que transmite ao ponteiro, portanto, quanto mais dura for a borracha, maior será a leitura na escala. Os durômetros podem ser portáteis ou montados sobre uma base, permitindo leituras mais regulares. A leitura da dureza deve ser feita um segundo depois de estabelecido o contato entre a base (ponteira) e o corpo de prova com superfície horizontal e espessura mínima de 6 mm a 23°C. Verifica-se uma queda na dureza a partir de 10% de incorporação de pó de poliuretano e esta diferença está no limite inferior da tolerância que é de  $\pm 5$  Shore A do especificado, e como está no limite, qualquer variação poderá comprometer.
- Módulo, ruptura, alongamento e rasgo ocorre uma perda de propriedade conforme se aumenta a quantidade de poliuretano micronizado – analisa-se inicialmente segundo a norma de tensão de ruptura (ASTM 412, 1995) o objetivo principal deste teste é medir as modificações físicas produzidas na borracha quando ela é submetida a uma tensão sob determinadas condições de operação. Nele se determina o módulo, carga de ruptura e alongamento. Depois, para corpos de prova

são produzidos e analisados conforme a norma (ASTM-D-638, 1999):

1) Força de ruptura: Quando um corpo de prova de material qualquer é solicitado nos extremos por duas forças de sentidos opostos e crescentes, ele vai sendo espiçado, vai se alongando mais ou menos, conforme a espécie do material, até as forças atingirem um valor em que o corpo de prova se rompe. A força para rompê-lo é chamada de carga de ruptura ou tensão de ruptura. Como esta força depende da seção ou dimensões transversais do corpo de prova, refere-se a carga de ruptura a uma seção determinada de  $1 \text{ cm}^2$ . A carga de ruptura sendo uma força é expressa em quilograma, portanto, a unidade de medida é de  $\text{Kgf}/\text{cm}^2$ . De todos os ensaios, este é o que mais foi prejudicado pela incorporação do pó de poliuretano, por ser uma carga inerte e sem compatibilidade, quanto mais o corpo de prova for alongado, esticado, e maior for a quantidade de cargas inertes no mesmo, mais fácil será seu rompimento. Um outro agravante é que o próprio pó pode, mecanicamente, romper parte da cadeia devido a sua abrasividade e irregularidade superficial.

2) Módulo: Consiste na força necessária para um corpo de prova apresentar um dado alongamento. Como exemplo o módulo de um determinado material sob alongamento de 300% é de  $110 \text{ Kgf}/\text{cm}^2$ . Como os alongamentos foram altos, os valores a 300% não apresentam variação significativa, possivelmente somente acima de 500% haja variação, portanto, este teste foi descartado para qualquer conclusão.

3) Alongamento na Ruptura: À medida que um corpo de prova é solicitado por uma força nas extremidades, ela se espiça ou se alonga. O comprimento na leitura menos o original é o alongamento, que é expresso em porcentagem. No mo-



mento da ruptura é chamado de alongamento na ruptura. É esperado uma queda no alongamento pela presença de carga inerte e o limite depende da exigência do cliente. Sabe-se que haverá uma redução no alongamento de 10/12%, em muitos casos esta variação seria admissível.

- Há um decréscimo no peso específico, produzindo-se mais peças com menos matérias primas – analisa-se conforme a norma (ISO 2781, 1988 e ASTM 1817, 2001) que trata da densidade. A forma utilizada para medir a densidade é a amostra ser colocada numa coluna de líquido cuja densidade varia em função dessa altura. A amostra fica imobilizada num determinado ponto e seu valor é dado em função desta posição. Outra forma é calculando matematicamente, ou seja,  $d = m/v$ .
- Como o poliuretano elastomérico, que é este caso, tem uma excelente resistência à abrasão, seu pó manteve esta propriedade, desgastando menos o composto – analisa-se conforme a norma de resistência e abrasão (ISO 4649, 2002 e DIN 53479, 1976), que consiste na resistência da composição da borracha ao desgaste quando em atrito a uma superfície móvel. A determinação do volume perdido por abrasão é feita submetendo-se o corpo de prova a um desgaste com uma lixa de abrasividade. Este método é apropriado para testes comparativos para controlar a uniformidade de produtos e suas especificações.

A abrasão é a variação de volume em  $\text{mm}^3$ , é a perda de volume sob determinadas condições. O corpo de prova é cilíndrico. A perda de massa do corpo de prova é determinada em miligrama por pesagem e o volume perdido calculado com base na densidade determinada.

O poliuretano elastomérico é muito abrasivo e este está na faixa de  $40 \text{ mm}^3$ , portanto, apesar de não estar incorporado ao poliuretano e sim misturado, tem, na superfície da amostra, poliuretano, que irá provocar uma resistência maior da amostra durante o ensaio de abrasão. Por exemplo, nas especificações da Basf, fabricante de Poliol, Isocianato e até sistemas, a abrasão média dos poliuretanos elastoméricos, varia de 20 a  $60 \text{ mm}^3$ . Neste ensaio, quanto menor o resultado melhor a abrasão da amostra, portanto, houve uma melhora.

Conclui-se que somente nos casos onde a tensão de ruptura é fundamental não se pode adicionar o pó de poliuretano, mas nos demais, 5% de pó de poliuretano não irá causar comprometimento nas demais propriedades físicas do composto, aliás, na abrasão melhorou. Este ensaio da forma que foi feito é inédito, não existindo outro para comparar, portanto a conclusão é baseada nos resultados acima (tabela 2) e na experiência de quem a irá utilizar. Dentro desta análise, nos compostos mais nobres, que representam 80% da produção, foi colocado 1% de pó de poliuretano, que não representa variações significativas e nos compostos menos nobres, que representam 20%, foi colocado 10% de pó de poliuretano.

### 3 Resultados e discussão

#### 3.1 Vantagens econômicas e comerciais na reciclagem de poliuretano

Neste caso em que a empresa tem a unidade de fabricação de poliuretano que processa 180 toneladas por ano e de composto de borracha (1000 toneladas por ano) em uma mesma planta. Isso facilitou a implementação da reciclagem de PU para a utilização como carga de enchimento na fabricação de compostos de borracha. Somente comprou-

se equipamentos específicos à reciclagem, não necessitando de contratação de mão de obra.

Segundo Hofmann (1989), um composto de borracha é a mistura e homogeneização de várias matérias primas, como elastômero, ativadores, cargas reforçantes e/ou de enchimento, agentes de proteção, agentes de fluxo, resinas, aceleradores, agente de vulcanização, e dependendo da formulação, outros agentes químicos.

A tabela 3 mostra que a empresa recicla e utiliza como carga de enchimento 18 toneladas por ano de PU. Através de estudos técnicos é possível adicionar 5% do PU reciclado com a matéria prima virgem resultando em um composto de borracha menos nobre, cujo preço de vendas, R\$ 3.500,00 por tonelada, também na transformação do composto de borracha mais nobre, cujo de preço de vendas, R\$ 6.000,00 por tonelada, adiciona-se 1% de PU reciclado. Ao final percebe-se uma economia, isto é, deixa-se de comprar matéria prima virgem para utilizar o PU reciclado. Essa vantagem econômica é de 1%, representando uma redução bruta (sem considerar os impostos e outros custos) de R\$ 83.000,00.

A tabela 4 demonstra o resultado de 2008 e 2009. Segundo Certo e Peter (2005) a demonstração de resultados apresenta o desempenho financeiro das operações de uma organização durante um intervalo de tempo, normalmente de um ano.

Nesse tipo demonstração apresenta-se a receita de vendas na parte superior e, então, realiza a subtração de vários valores para determinar o lucro após o pagamento de tributos (receita líquida).

No ano de 2009, a empresa implementou o processo de reciclagem de PU para a fabricação de composto de borracha. Percebe-se uma redução na compra de matéria prima, respectivamente no pagamento de fornecedores. Outro aspecto relevante, é que a empresa passou a recolher os resíduos dos clientes (8 toneladas), para isso, teve um aumento de custos para pagar o frete do transporte terceirizado (R\$ 2000,00 por ano). Além disso, houve um aumento do consumo de energia elétrica em 150,00 referente a aquisição dos equipamentos para a reciclagem de PU. Portanto houve uma economia líquida de R\$ 80.850,00.

Como mencionado no início desta seção a empresa comprou equipamentos específicos para a reciclagem de PU, investiu R\$ 100.000,00. Mas já havia planejado o lucro líquido após o abatimento de impostos um ganho líquido anual de R\$ 80.850,00.

Desta forma mostra-se um cálculo de retorno sob o investimento (ROI), conforme Martins (2000), a análise do (ROI) consiste na melhor maneira de se avaliar um grau de sucesso de um empreendimento através da divisão do lucro obtido em um período de tempo dividido pelo investimento, nesse calcula-se o valor percentual. Também é possível analisar o período de (ROI),

**Tabela 3: Vantagens econômicas na substituição de Matéria-prima por Poliuretano PU**

Refugo anual PU	Adicionar	Produção anual (1000 Ton.) borracha + PU	Preço da empresa médio do composto de borracha	Receita de vendas da empresa anual	Redução custos anual-utilização do PU como carga de enchimento
Empresa:10 Ton.	5%	200 Ton.	Menos nobre R\$ 3500,00 Ton.	R\$ 700000,00	R\$ 35000,00
Cliente: 8 Ton.	1%	800 Ton.	Mais nobre R\$ 6000,00	R\$ 4800000,00	R\$ 48000,00
Total				R\$ 5500000,00	R\$ 83000,00 Economia de 1%

Fonte: Os autores.



**Tabela 4: Demonstrativo de resultado focando na implementação do PU reciclado na fabricação de composto de borracha**

	Ano 2008 Sem utilizar PU reciclado na fabricação de composto de borracha	Ano 2009 Utilizando PU reciclado na fabricação de composto de borracha
Receita de vendas	R\$ 5.500.000,00	R\$ 5.500.000,00
Total de entradas	R\$ 5.500.000,00	R\$ 5.500.000,00
Despesas		
Pagamento à fornecedores à vista	R\$ 2.000.000,00	R\$ 1.917.000,00
Pagamento de fornecedores para recolher o refugo	R\$ 0,00	R\$ 2000,00
Remuneração pessoal	R\$ 4000,00	R\$ 4000,00
Encargos sociais	R\$ 2400,00	R\$ 2400,00
Pagamento à acionistas	R\$ 2.500.000,00	R\$ 2.500.000,00
Energia elétrica	R\$ 2350,00	R\$ 2500,00
Água	R\$ 700,00	R\$ 700,00
Telefone	R\$ 300,00	R\$ 300,00
Impostos e Taxas		
ICMS	R\$ 660000,00	R\$ 660000,00
IPTU	R\$ 400,00	R\$ 400,00
Lucro líquido após o abatimento de impostos	R\$ 5.170.150,00	R\$ 5.089.300,00
Vantagem econômica líquida		R\$ 80.850,00

Fonte: Gitman, 1997 (adaptado pelo autor).

nesse divide-se o valor do investimento pelo lucro obtido. Acompanhe os cálculos:

### ROI

$$\frac{\text{Lucro Líquido anual}}{\text{Investimento em equip}} = \frac{\text{R\$ 80.850,00}}{\text{R\$ 100.000,00}} = 81\% \text{ por ano.}$$

### Período de ROI

$$\frac{\text{Investimento em equip}}{\text{Lucro Líquido anual}} = \frac{\text{R\$ 100.000,00}}{\text{R\$ 80.850,00}} = 1 \text{ ano e } 2 \text{ meses.}$$

Portanto com o lucro anual obtido é possível retornar o capital investido 81% por ano, isso significa que em 1 ano e 2 meses retorna-se todo o capital investido nos equipamentos para reciclagem de PU, depois passa-se a ter um faturamento líquido.

### 3.2.1 Vantagem comercial

Existem duas formas muito claras que demonstram esta vantagem:

1) Conquistar a Rotulagem ambiental, porque fez a intervenção implementando a reciclagem em ciclo fechado, reciclando 100% dos refugos, inclusive os dos clientes. Segundo Furtado (2005) a rotulagem ambiental consiste em um sistema de avaliação de processos e de produtos, analisados por órgãos governamentais, que estabelecem exigências econômicas e ambientais, visando a utilização da logo marca sob proteção legal e a instituição de critérios restritivos para a concessão de selos, com base na visão global da vida do produto, revisão periódica e atualização. Segundo Contador (2008) a concessão do selo verde à empresas de qualquer natureza proporciona aumento na vantagem competitiva, devido a imagem de empresa socioambiental. Tachizawa e Andrade (2008) acrescentam que a responsabilidade socioambiental é a resposta natural das empresas ao novo cliente, o “consumidor verde” e ecológicamente correto. A empresa verde passou a ser sinônimo de bons negócios e, no futuro, será a principal forma de empreender negócios de forma duradoura e lucrativa.

2) Trocar com clientes o seu passivo de poliuretano, que ele deve dar destinação sem custo adicional, desde que colocado na empresa. Conforme já mostrado tem 8 toneladas a ser adicionado, haja vista que o refugo interno é de 10 toneladas. Essa ação melhorou o lucro líquido da empresa pesquisada, porque ao invés de comprar matéria prima virgem utilizou o PU como carga de enchimento, isso reduziu custos. Como perspectiva a empresa pretende aumentar a quantidade de clientes para a aderência nesta ação onde é possível conquistar vantagem econômica e ambiental, esse último alvo do próximo tópico.

### 3.3 Resultados ambientais: intensidade de materiais

Observa-se que as quantidades economizadas de borracha (com poliuretano) levam a uma expressiva economia de material em escala global (Tabela 5).

**Tabela 5: Material economizado com consequência de aproveitamento do poliuretano antes descartado, considerado como 18 toneladas por ano**

	Fatores de Intensidade de Material			
	Material abiótico	Material biótico	Água	Ar
Poliuretano: PU (g/g) a	135360		9583200	61560

Fonte: Os autores.

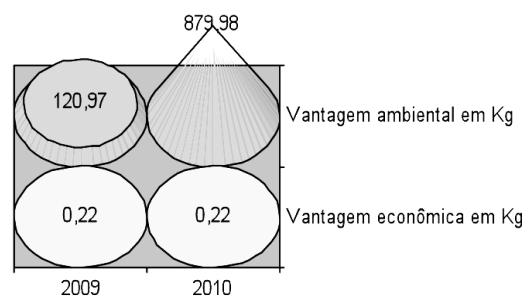
O reaproveitamento de 18 toneladas de poliuretano corresponde a 135,36 toneladas de material no nível abiótico, a 9.583,2 toneladas na água e 61,56 toneladas no ar. Esses dados são significativos, toda maneira de redução da poluição nos níveis abióticos, água e ar são propulsores da sustentabilidade, que visa manter a vida na terra de maneira indefinida. É importante relatar que a implementação da reciclagem de PU para ser utilizado como carga de enchimento na fabricação do composto de borracha foram encontrados na literatura, porém sem a implementação da metodologia Wuppertal (2008) que visa levantar as vantagens ambientais. Um dos estudos publicados que corroboram relata sobre a reciclagem da borracha e a utilização como composto na fabricação de borracha e no final mostrou os cálculos que corroboram com este estudo (OLIVEIRA NETO et al. 2009).

Os benefícios financeiros ou lucro líquido pelo reaproveitamento de 18 toneladas de poliuretano durante um ano correspondem a R\$ 80.850,00. Se for definida a razão (material economizado/dinheiro economizado), ele muda de 0,22 considerando só o poliuretano reaproveitado

para 120,97 (soma dos fatores de intensidade de material/dinheiro economizado) quando é considerado o material de todos os compartimentos. No primeiro caso, cada real economizado corresponde a 0,22 kg de material. Quando se considera a escala global, por cada real, há um benefício de 120,97 kg de material que não é modificado nem retirado dos ecossistemas.

A empresa objetiva aumentar o reaproveitamento em 2010 para 30 toneladas de PU reciclado por ano que corresponde a um lucro líquido, após subtrair os impostos e outros custos a um valor de R\$ 135.000,00. Portanto a cada real economizado corresponde a 0,22 Kg. Esse valor permaneceu o mesmo realizado em 2009, esse fato ocorre porque a maior parte dos custos aumenta, principalmente o ICMS. Quando se considera a escala global, por cada real, há uma vantagem ambiental de 879,98 Kg de material que não é modificado e nem é retirado do ecossistema.

#### Projeção de aumento de reciclagem de PU



**Gráfico 1: Projeção para o ano de 2010 para aumentar a reciclagem de PU**

Fonte: Os autores.

## 4 Conclusões

A cultura ambiental precisa ser intensificada nas empresas. É necessário reduzir a poluição



para preservar as gerações futuras. Os consumidores modernos têm como atributos a qualidade, o preço, o prazo de entrega, a marca e o respeito ao meio ambiente. A preocupação com a imagem da empresa socioambiental, por exemplo, induziu a indústria automobilística a certificar os fornecedores para a prestação de serviço, se o mesmo tiver certificação ISO 14000, confirmado periodicamente. Na atualidade é possível observar a implementação da P+L na reciclagem de produtos na própria planta em um ciclo fechado, independentemente do porte da empresa. Confirma-se que uma das maneiras para contribuir com a redução da poluição nos níveis abióticos, água, terra e ar seja a reciclagem de poliuretano em um ciclo fechado, conforme apresentado nesse artigo.

É possível estabelecer metas de redução na geração de resíduos no meio ambiente mesmo na pequena indústria de produção de borracha, seja no contexto de prestadoras de serviços ou fornecedoras de produtos acabados, que são parte integrante dos processos produtivos de grandes empresas.

A implementação da P+L apresentou vantagens econômicas e ambientais, com o processo de reciclagem de representou expressivo ganho ambiental e econômico.

As empresas devem se estruturar de maneira a buscar adequações em seus processos, com o objetivo de identificar os produtos existentes que poderiam ser melhorados, e as fases do ciclo de produção que poderiam se adequar a critérios ambientalmente aceitáveis.

Grande parte das empresas brasileiras tem participação estrangeira em seu capital, ou são responsáveis pela exportação de componentes ou bens de consumo, e a aceitação no mercado global pressiona a revisão de conceitos de desenvolvimento sustentável.

Há muito que se fazer na prevenção da degradação do ecossistema, reconhecer esta necessidade

já significa um avanço no contexto econômico-financeiro.

É necessário que se incentivem programas direcionados à eficiência energética para que as empresas brasileiras adotem a disseminação de uma nova consciência ambiental na Governança Corporativa, que além de preservar o meio ambiente, proporciona vantagens econômicas.

Os benefícios ambientais podem ser avaliados quantitativamente usando uma metodologia adequada. Isto permite acompanhar o desempenho da empresa em que é efetuada uma intervenção de P+L. É possível obter informações em escala global confrontando aspectos ambientais e financeiros. Os resultados apresentados na discussão são satisfatórios para a empresa em estudo, de um lado a organização adquire vantagens econômicas e de outro vantagens ambientais, além de favorecer na competitividade empresarial. E em um estudo de projeção para o ano de 2010 pretende-se aumentar a quantidade de poliuretano recolhido do cliente, resultado que mostra redução da poluição.

“A preservação do ambiente de projeto vem se transformando em causa” (VENDRAMETTO, 2010). Os produtos que não mostrarem com evidências a preocupação com o meio ambiente serão cada vez menos competitivos.

## Referências

- ADHIKARI, B; MAITI, S; *Progress in Polymer Science*, 25, p.909-48, 2000.
- ARNDT, M. *Cat sink its claws into service*. Business Week 3692, pp, 56-59 (December 5), 2005.
- American Society for Testing and Materials, ASTM D412-97a “*Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers-Tension*”. 1995. Annual Book of ASTM Standards, vol. 09.01, Philadelphia (1995).
- American Society for Testing and Materials ,ASTM D 638-99, “*Standard test method for tensile properties of plastics*”. Annual Book of ASTM, Philadelphia, 1999.

- American Society for Testing and Materials, ASTM 1817, *Standard Test Method for Rubber Chemicals—Density*, 2001.
- American Society for Testing and Materials, ASTM 2240-91, "Test Method for Rubber Property, Durometer Hardness". 1995. Annual Book of ASTM Standards, vol .09.01, Philadelphia (1995).
- BOM. R. P; *Alternativa de reciclagem de resíduos de espuma rígida de poliuretano com ABS*. Revista Matéria, vol.13, nº 2. PP. 388 – 397, 2008.
- BRAGA, Benedito. et al. *Introdução à engenharia ambiental*. 2<sup>a</sup> Ed. – São Paulo: Pearson Prentice Hall,2005.
- CERTO, Samuel C. PETER, J.P. *Administração estratégica: planejamento e implantação da estratégia*. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2005.
- CONTADOR, J. C.; *Campos e armas da competição: novo modelo de estratégia*, São Paulo: Saint Paul Editora, 2008.
- DIN 53479. *Testing of Plastics and Elastomers; Determination of Density*, Beuth Verlag GmbH, 1976.
- EPA – *Status report on the use of environmental labels worldwide*, Cambridge, Abt. Associates Inc., 1993.
- FACHIN, O. *Fundamentos de Metodologia*. 4<sup>a</sup> ed. São Paulo: Saraiva, 2003.
- FURTADO, J. S. *Sustentabilidade Empresarial. Guia de práticas econômicas, ambientais e sociais*, Bahia, 2005.
- GERBRESELASSIE, GH, WOLF JR, G, et al. *Lean Corporation method of recycling polyurethane foam components*. United States Patent 6,299,881123, 2001.
- GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. B. V. *Ecologia Industrial: Conceitos, ferramentas e aplicações*. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 2006.
- GIL, A. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4<sup>a</sup> ad. São Paulo: Atlas, 2002.
- GITMANN, Laurence J. *Princípio de administração financeira*. 7<sup>a</sup> ed. São Paulo: Harbra, 1997.
- GÜNTHER, W. M. R. *Minimização de resíduos e educação ambiental*. In: Seminário Nacional de resíduos sólidos e limpeza pública, 7. Curitiba, 2000. Anais. Curitiba, 2000.
- HENDRIKS, C. F. *The building cycle*. Ed. Aeneas. Holanda. 2000.
- HOFMANN, W. *Ruber technology Handbook*. Hanser Publishers: New York, EUA, 1989.
- IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica do estado de São Paulo, SHUDHEVEA. *Curso de especialização em tecnologia de Elastômero*, São Paulo, 1982.
- ISO International Organization for Standardization 2781, *Rubber, vulcanized; determination of density*, EUA, 1988.
- ISO International Organization for Standardization 4649, *Rubber; determination of abrasion resistance using a rotating cylindrical drum device*, EUA, 2002.
- JOHN, V. M. *Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. São Paulo, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Tese (livre docência). 2000.
- JUMPASUT, P. *Rubber Technology Internation*, p. 9-13, 2000.
- KARGER-KOCSIS, J.; GREMMELS, J.; MOUSA, A.; ISHIAKU, U.S.; MOHD ISHAK, Z. A. *Application of hygrothermally decomposed polyurethane in rubber recipes. Part 1: Natural rubber (NR) and nitrile rubber (NBR) stocks*. KGK-Kautschuk und Gummi Kunststoffe, vol.53, pp. 528-533, 2000.
- MANO, E. B; PACHECO, E. B. A. V.; BONELLI, C. M. *Meio ambiente, poluição e reciclagem*. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.
- MARK, F. E.; KAMPRATH, A. E. *End-of-life vehicles recovery and recycling polyurethane seat cushion recycling options analyses*. SAE Technical paper deries International, 2004.
- MARTINS, E. *Contabilidade de custos*. 7<sup>a</sup> ed., São Paulo: Atlas, 2000.
- MODESTI, M; SIMIONI, F. *Chemical Recycling of Reinforced Polyurethane from automotive Industry*. Polymer Engineering and Science, V. 36, p. 2173-2178, 1996.
- MOORS, E. H. M; MULDER, K. F.; VERGRAGT, P. J. *Towards cleaner production: barriers and strategies in the base metals producing industry*. Journal of Cleaner Production 13. pag. 657-668, 2005.
- MOURA, L. A. A. de. *Economia Ambiental: gestão de custos e investimentos*: São Paulo: Editora Juarez de Oliveira, 2000.
- MOUSA, A; KARGER-KOCSIS, J, Application of hygrothermally decomposed polyurethane in rubber recipes. Part 2. Influence of hygrothermally decomposed polyester-urethane on cure characteristics and viscoelastic behaviour of styrene/butadiene rubber, *Plast. Rubb. Compos.vol.30*. pp. 309–313, 2001.
- ODUM, E.P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan SA, 1998.
- OLIVEIRA NETO et al. *A Implementação da Produção Mais Limpa na Indústria de Borracha – um Estudo de Caso*. International Worshop - KEY ELEMENTS FOR A SUSTAINABLE WORLD: ENERGY, WATER AND CLIMATE CHANGE. São Paulo, Brazil, 2009.
- OLIVEIRA, S. L. *Tratado de Metodologia Científica*. São Paulo: Editora Pioneira, 1999.



- OURA, M.M; SOUZA, MARIA. T. S. de; *A evolução das tecnologias end-of-pipe às Tecnologias Limpas em indústria de equipamentos de torrefação de café*. ENEGEP - Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 09 a 11 de outubro de 2007.
- PATEL, M.; THIENEN, N. V. & JOCHEM, E. W. *Resources Conservation & Recycling*, 29, p.65-90, 2000.
- PINTO, T. P. *Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*. São Paulo, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Tese (Doutorado). 1999.
- PORTAL SÃO FRANCISCO, *Poliuretano*. Desponível em: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/poliuretanos/poliuretanos.php>, acesso em: 8 mar. 2010.
- REUJAKIN, O.; ZINCANS, J.; KALNINS, M. et al. *Properties of compositions on the basics of post-consumer rigid thermoplastics and rigid polyurethane foam*. Polymer Recycling, V,4: pag. 117-123, 1999.
- REUJAKIN, O.; ZINCANS, J.; KALNINS, M. et al. *Properties of compositions on the basics of post-consumer rigid thermoplastics and rigid polyurethane foam and low-density thermoplastic resins*. Polymer International, V,49: pag. 917-920, 2000.
- ROSA, D. S.; GUEDES, C. G. F. *Desenvolvimento de processo de reciclagem de resíduos industriais de poliuretano e caracterização dos produtos obtidos*. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 13, nº 1, p. 64-71, 2003.
- SCURACCHIO, C. H; WAKI, D. A; *Caracterização térmica e reológica de borracha de pneu desvulcanizada por microondas*. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol.16, nº 1, p. 46-52, 2006.
- SOMBATSOMPOP, N. Dynamic mechanical properties of SBR and EPDM vulcanisates filled with cryogenically pulverized flexible polyurethane foam particles. *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 74, pp. 1129-1139, 1999.

SENAI-RS. *Implementação de Programas de Produção mais Limpa*. Porto Alegre, Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/UNIDO/INEP, 2003.

SILAEX, *Poliuretano*. Disponível em: <http://www.silaex.com.br/pu.htm>, acesso em: 8 mar. 2010.

TACHIZAWA, T.; ANDRADE, R. O. B. *Gestão Socioambiental: estratégia na nova era da sustentabilidade*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

TSOULFAS, G. T.; PAPPIS, C. P. *A model for supply chains environmental performance analysis and decision making*. *Journal of Clean Production* 16, pp. 1647-1657, 2008.

UNIDO/UNEP Manual (a). *Cleaner Production Assesment Manual. Part One. Introduction to Cleaner Production*. Draft, 30 June 1995.

WUPPERTAL, Institute. *Calculating MIPs, resources productivity of products and services*. Available from: [http://www.wupperinst.org/uploads/tx\\_wiberitrag/MIT\\_v2.pdf](http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wiberitrag/MIT_v2.pdf); [accessed April 2008]. Wuppertal Institute. Available from: [http://www.wupperinst.org/uploads/tx\\_wiberitrag/MIT\\_v2.pdf](http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wiberitrag/MIT_v2.pdf); [accessed April 2008].

YUKSEL, H., *Na empirical evaluation of clean production pratices in turkey*. *Journal of Clean Production* 16S1,pp 50-57, 2007.

ZIA, K. M.; BHATTI, H. N.; BHATTI, I. A. *Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: A review*. *Reactive & Functional Polymer*. vol. 37, pp. 675-692, 2007.

ZOOPI, R. A.; DE PAOLI, M. A. *Elastômeros Condutores Derivados de Polipirrol e Borracha de EPDM: Preparação e Propriedades*. Polímeros: Ciência e Tecnologia, Jul/set, pag. 19-31, 1995.

ZOOPI, R. A.; DE PAOLI, M. A. *Síntese e caracterização do composto poli (3-metil-tiefeno)/borracha nítrica* (Mestrado em Química). Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, 1991.

Recebido em 20 out. 2009 / aprovado em 8 abr. 2010

**Para referenciar este texto**

OLIVEIRA NETO, G. C. de; CHAVES, L. E. de C.; VENDRAMETTO, O. *Vantagens econômicas e ambientais na reciclagem de poliuretano em uma empresa de fabricação de borracha*. *Exacta*, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 65-80, 2010.