

PRODUÇÃO MAIS LIMPA: ESTUDO DA VANTAGEM AMBIENTAL E ECONÔMICA NA RECICLAGEM DE POLÍMEROS

GERALDO CARDOSO DE OLIVEIRA NETO, FÁBIO YTOSHI SHIBAO, MOACIR GODINHO FILHO e LUIZ EDUARDO CARVALHO CHAVES

RESUMO

Este estudo avaliou a vantagem ambiental e a econômica da implantação da Produção mais Limpa (P+L) de um fabricante de plásticos usando reciclagem em um ciclo fechado de polímeros. O procedimento metodológico empregado foi qualitativo em um estudo de caso, desenvolvido por meio de entrevista semiestruturada e observação participante e quantitativo para avaliar o material intensity factor (MIF). Os resultados indicaram vantagens ambientais com redução da poluição em 3.507.470,8kg e

vantagens econômicas de R\$75.384,00 mensais pelo reaproveitamento de 21.600,0kg de resíduos de polímeros com a implantação da P+L. Logo, o estudo contribuiu para motivar os dirigentes de pequenas e médias empresas a implantarem P+L, porque se consegue de maneira rápida identificar as vantagens ambientais e econômicas do projeto e para a academia uma metodologia simples e prática de se avaliar os projetos de implantação de P+L, principalmente quando se tem pouco dados disponíveis.

 competição global tem exigido que as indústrias administrem a manufatura sob uma perspectiva de sustentabilidade na busca constante das práticas que gerem vantagem competitiva. O Relatório da Comissão Mundial de Desenvolvimento e Meio Ambiente das Nações Unidas (Brundtland Report, 1987) enfatizou que o desenvolvimento sustentável é aquele capaz de suprir as necessidades da população sem comprometer as necessidades das gerações futuras.

Com isso, as empresas reformularam as suas estratégias operacionais, ponderando as práticas de 'produção

mais limpa' (P+L) nas decisões de produção. As práticas de P+L são importantes para todo tipo de indústria, inclusive para as pequenas e as médias empresas em fase de consolidação de seu sistema de gestão empresarial (Ortiz *et al.*, 2013).

Vale ressaltar que as empresas poderão conquistar vantagem ambiental (VA) e vantagem econômica (VE) com a implantação da P+L reduzindo emissões e reciclagem em ciclo fechado de resíduos sólidos (CNTL, 2003). Entretanto, os empresários não querem ter custos com as práticas de sustentabilidade; portanto, tendem a aprovar somente projetos que gerem simultaneamente VA e VE.

Com isso, o objetivo deste estudo foi avaliar a VA e VE na implantação da P+L em um fabricante de plásticos usando reciclagem em um ciclo fechado de polímeros. A literatura apresentou aplicações da P+L em Giannetti *et al.* (2008), que realizaram pesquisa no segmento joalheiro; Vendrametto *et al.* (2010) no automotivo; Oliveira Neto *et al.* (2012) no químico; Paoli *et al.* (2013) na usinagem de grande porte; Oliveira Neto *et al.* (2014) no de autopeças e constatou-se apenas um trabalho que trata de reciclagem em P+L sob a visão de VA e VE no segmento de borracha (Oliveira Neto *et al.*, 2010).

PALAVRAS CHAVE / Produção Mais Limpa / Reciclagem de Polímeros / Vantagem Ambiental / Vantagem Econômica /

Recebido: 10/02/2014. Modificado: 20/03/2015. Aceito: 23/03/2015.

Geraldo Cardoso de Oliveira Neto. Doutor em Engenharia da Produção, Universidade Paulista (UNIP), Brasil. Pós-Doutorado em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Professor, Universidade Nove de Julho (UNINOVE), Brasil. e-mail: geraldo.prod@ig.com.br.

Fábio Ytoshi Shibao. Doutor em Administração, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Brasil. Professor, UNINOVE, Brasil. Endereço: Avenida Francisco Matarazzo, 612. CEP 05001-000. São Paulo, SP, Brasil. e-mail: fabio.shibao@gmail.com.

Moacir Godinho Filho. Doutor em Engenharia de Produção, UFSCar, Brasil. Pós-doutor em Quick Response Manufacturing, University of Wisconsin at Madison, EEUU e em System Dynamics e Factory Physics, North Carolina State University, EEUU. Professor, UFSCar, Brasil. e-mail: moacir@dep.ufscar.br.

Luiz Eduardo Carvalho Chaves. Mestre em Engenharia de Produção, UNIP, Brasil, Pós Graduado em Administração Industrial, Universidade de Taubaté, Brasil. Professor, Faculdade de Tecnologia de Taubaté, Brasil. e-mail: luizchaves@hotmail.com

Dentro desse contexto, emergiu a seguinte questão de pesquisa: como mensurar e comparar as vantagens ambientais e econômicas com a implantação da P+L na indústria de polímeros? O presente estudo é uma resposta a essa lacuna. A ferramenta utilizada para realizar a avaliação ambiental foi o *material intensity factor* (MIF). Objetivou-se identificar: i) os resultados alcançados com a aplicação do MIF e ii) as ferramentas da ecoeficiência que foram utilizadas em conjunto com o MIF.

Método

Em um primeiro momento realizou-se pesquisa bibliográfica para fundamentar os conceitos sobre a implantação da P+L na reciclagem de polímeros, ao pesquisar VA e VE por meio dessa ação e MIF. Segundo Yin (2013) é necessário desenvolver arcabouço teórico robusto em estudos exploratórios para basear a pesquisa de campo.

Após conhecer a ferramenta MIF realizou-se pesquisa bibliométrica para quantificar a produção científica sobre as palavras-chaves pesquisadas (Cooper e Lindsay, 1998) e de conteúdo de origem documental para codificar e categorizar o conteúdo dos artigos captados para inferência do conhecimento (Bardin, 1986).

Os artigos foram coletados nas bases de dados *Proquest*, *Ebsco* e *Capes* com base nas palavras-chaves cognatas imputadas separadamente: *material intensity factor* (MIF), fator de intensidade de material, MIF; *material input per unit service* (MIPS), entrada de material por unidade de serviço e MIPS, para constatar uma lacuna de pesquisa por meio análise de: i) quais trabalhos utilizaram MIF para avaliar ganhos ambientais? ii) quais os resultados alcançados? e iii) quais as ferramentas da ecoeficiência utilizadas em conjunto com o MIF?

O *gap* de pesquisa identificado foi como mensurar e comparar as vantagens ambientais e econômicas com a implantação da P+L na indústria de polímeros. Para isso, desenvolveu-se um estudo de caso com base em entrevista semiestruturada e observação participante.

O método de estudo de caso único possibilita preencher as condições determinadas para testar os objetivos propostos na pesquisa (Yin, 2013). A estratégia de pesquisa focou

em compreender a dinâmica presente em cada cenário, combinando os métodos de coleta de dados, como arquivos, entrevistas, questionários e observações, podendo as evidências ser qualitativas ou quantitativas, ou ambas (Eisenhardt, 1989). Assim, foi possível criar as condições para a compreensão, a contestação ou a confirmação da teoria, sendo ingrediente chave para estudos exploratórios (Yin, 2013).

No processo de desenvolvimento do estudo de caso foram realizadas entrevistas semiestruturadas em conjunto com a observação participante, com o gestor de operações e o gestor ambiental do fabricante de componentes plásticos que haviam implantado o processo de reciclagem das aparas, e também porque eles conheciam os eventuais problemas que poderiam ocorrer no sistema produtivo.

A observação participante implica em utilizar todos os sentidos como ouvir e observar e com o tempo as informações podem chegar ao pesquisador sem esforços, enquanto a entrevista, fornece acesso ao comportamento da pessoa e, desse modo, colabora na compreensão do significado desse comportamento (Seidman, 1991). Para maior rigor metodológico, foi utilizada a estratégia de triangulação com base em Denzin (1989).

Coleta de dados por meio de entrevista semiestruturada em combinação com observação participante permitiu conhecer o processo e levantar as quantidades (em massa) de resíduos por mês que foram reutilizadas na fabricação de componentes de plástico, concebendo um estudo de caso único.

Outro aspecto relevante foi contabilizar os custos de implantação do processo de reciclagem, que possibilitou a análise econômica com o intuito de avaliar o retorno do investimento. Os dados mensais (em massa) dos resíduos de polímeros reusados possibilitou também a mensuração por meio do método Wuppertal (2013) das VAs, em relação as mudanças ambientais ocasionadas pela extração de recursos naturais de seus

ecossistemas. Na Tabela I é apresentada a produção total de cada polímero e sua respectiva fração reciclada.

Para a realização do cálculo foi estabelecido o balanço de massa com as unidades e os componentes reciclados. Com base nos componentes identificados no balanço de massa (M) constante na coluna 'Material por mês reciclado' da Tabela I, também foi extraído os *intensity factor* (IF) de cada compartimento (abiótico, biótico, água e ar) do documento publicado e atualizado constantemente pelo Instituto Wuppertal que estão conceituados na revisão da literatura. Para determinar o MIF, o fluxo de entrada de massa (M) é multiplicado pelo IFs (Ritthoff *et al.*, 2002; Wuppertal, 2013), conforme a equação $MIF = M \times IF$.

Apesar dos estudos de IF desenvolvido ter base na matriz energética da Alemanha, esse fato não impossibilita a implantação dessa ferramenta no Brasil, porque segundo o Instituto Wuppertal, os dados quantitativos são próximos (Ritthoff *et al.*, 2002; Wuppertal, 2013).

Para finalizar a pesquisa, relacionou-se VAs com VEs, com o objetivo de mostrar que é possível obter VAs e VEs na implantação da P+L no sistema produtivo, calculado por meio da utilização MIF.

Revisão da Literatura

Produção mais limpa (P+L)

O termo P+L foi definido em Maio de 1989, na reunião em Paris da United Nations Environment Programme (UNEP) como a abordagem conceitual e processual para a produção, que exige que todas as fases do ciclo de vida do produto ou processo devem ser tratados com o objetivo de prevenir e minimizar os riscos de curto e de longo prazo para os seres humanos e para meio ambiente (Baas *et al.*, 1990).

As ações de P+L diferem-se das ações de fim-de-tubo. Enquanto

TABELA I
PRODUÇÃO, RECICLAGEM E FATORES DE INTENSIDADE DE MATERIAL

Resíduos	Total produção (kg)	Material por mês reciclado (M)	Unid.	Intensidade de material <i>Intensity factor</i> (IF)			
				Abiótico	Biótico	Água	Ar
PEBD	100000	1000	kg	2,49		122,2	1,617
PEAD	70000	600	kg	2,52		105,9	1,904
PP	23000	200	kg	2,09		35,8	1,482
PEBDR	19500	19500	kg	2,12		162,1	2,805
PEBDL branco + preto (coextrusado)	25000	300	kg	2,12		162,1	2,805

PEBD: polietileno baixa densidade, PEAD: polietileno alta densidade, PP: polipropileno granulado, PEBDR: polietileno de baixa densidade reciclado, PEBDL: polietileno baixa densidade linear branco e preto.

na primeira é feito um estudo direcionado para as causas da geração do resíduo, nas ações de fim-de-tubo aplica-se à solução do problema sem questionar (CNTL, 2003; Yuksel, 2008).

Assim, a aplicação integrada e contínua da estratégia econômica, ambiental e tecnológica aos processos de produtos e/ou serviços com o intuito de elevar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, além da redução ou reciclagem dos resíduos gerados, significa P+L, portanto objetiva o ganho de produtividade, lucratividade e a competitividade das empresas, enquanto protege o meio ambiente, consumidor e o trabalhador (CNTL, 2003; UNEP, 2006). Logo, é a preocupação com operações, sustentabilidade, redução de resíduos, reciclagem e reutilização (Tseng *et al.*, 2009; Khalili *et al.*, 2014).

Na Tabela II são apresentados as sínteses das diversas abordagens sobre P+L.

A ênfase deste trabalho foi o processo de reciclagem integrado ao processo produtivo; isto é, o reaproveitamento do material do qual o resíduo é composto, para a mesma finalidade ou para finalidades distintas de uso (Khalili *et al.*, 2014). Logo, a P+L reduziu o volume de reagentes tóxicos descartados no meio ambiente, fazendo com que a água, energia e matérias-primas circulassem o máximo possível dentro do processo produtivo antes do descarte, resultando em ganho de eficiência (Yuksel, 2008).

Reciclagem de polímeros

Produção e consumo globais de plástico têm aumentado anualmente,

em média 10%, passando de $1,5 \times 10^6$ t em 1950, para 280×10^6 t em 2012 (EuPR, 2013). O aumento é atribuído a um crescimento exponencial da população e do aumento do uso de plástico nas indústrias automotivas, de construção e de embalagem. O uso crescente dos plásticos também gera uma grande quantidade de resíduos que deveriam ser tratados, porque é um dos materiais mais encontrados nos aterros sanitários e devido a sua alta resistência podem durar séculos sem se decompor (Koushal *et al.*, 2014).

Assim, a sua reutilização ou reciclagem é a solução. Reutilização é o processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua alteração biológica, física ou físico-química, enquanto a reciclagem é o processo de modificação dos resíduos sólidos que envolve a mudança de suas propriedades físicas, físico-químicas

TABELA II
SÍNTESE DAS PRINCIPAIS ABORDAGENS SOBRE P+L

Autores	Abordagens
Jackson (1993)	Três princípios orientadores para P+L: precaução, prevenção e integração.
UNEP (1994)	Aplicação contínua de estratégias preventivas integrada a processos, produtos e serviços, para reduzir os riscos para a saúde e meio ambiente, e melhorar o desempenho ambiental e econômico.
Fresner (1998)	Mudanças organizacionais, tecnológicas e comportamentais de atuação preventiva, com meta de redução de materiais desperdiçados, diminuição do consumo de energia e níveis de emissão.
Chen <i>et al.</i> (1999)	P+L está ligado a uma série de sucessivos paradigmas do gerenciamento ambiental, saindo da gestão passiva, passando pela contenção e em direção da prática proativa e de prevenção.
Wang (1999)	Estratégia de P+L adotadas pelas empresas chinesas reduziu a poluição. Como barreiras: falta de conhecimento e consciência, impedimentos regulamentares, obstáculos financeiros e tecnológicos.
Van Berkel (2000)	Abordagem integrada contribuindo para redução de riscos ambientais e melhoria das condições de vida para os seres humanos e ao meio ambiente.
Dunn e Bush (2001)	Desenvolvimento do produto com o decréscimo da geração de perdas no processo, causa uma redução de impactos ambientais em todas etapas do ciclo de vida do produto.
UNEP (2001)	P+L é a resposta das empresas para reduzir a degradação ambiental, porque prevenir a poluição e reduzir o uso dos recursos naturais é melhor do que investir em tecnologias de fim de tubo.
CNTL (2003)	Minimização na geração de resíduos.
Hamed e Mahgary (2004)	P+L é conservação de energia e recursos naturais, sendo processo economicamente eficiente e não poluente, segura e saudável para os trabalhadores, consumidores e comunidade.
Kjaerheim (2005)	Processos produtivos, fatores econômicos e meio ambiente com foco na utilização de material sem desperdícios, reduzindo o consumo de energia e níveis de emissão.
Hicks e Dietmar (2007)	P+L como estratégia para reduzir os impactos ambientais negativos ao longo dos processos de produção evita e diminui a poluição na sua origem e aumenta a competitividade das empresas.
Van Berkel (2007)	Diminuição de resíduos nos processos produtivos e desenvolvimento de produtos que não causem impacto ambiental. Oportunidades ambientais e econômicas que identifiquem práticas preventivas.
Tseng <i>et al.</i> (2009)	Desenvolvimento de produto com pouca perda no processo e com baixo impacto ambiental no ciclo de vida do produto. Utilização de processos de reciclagem e de reutilização.
Zhou <i>et al.</i> (2010)	Aumento da eficiência produtiva de forma ecológica envolve processos produtivos, economia de matéria prima e de energia, redução de perdas e toxicidade e eliminação de produtos tóxicos.
Ellenbever e Geiser (2011)	Prevenção de perdas e redução de custos e a diminuição do uso de materiais tóxicos obtida com práticas de P+L gera impacto positivo na saúde e segurança dos trabalhadores.
Lindsey (2011)	Propôs três princípios sustentáveis para P+L: a sustentabilidade é obtida por meio da redução dos desperdícios, melhoria da qualidade e implantação de melhores sistemas.
Zhi-Dong <i>et al.</i> (2011)	Desenvolver tecnologia de proteção ambiental mesmo com diminuição das atividades econômicas. Práticas de P+L como uso de energia limpa, reciclagem de resíduos, novos fluxos de produção entre outros devem ser incorporados no projeto desde a sua concepção.
Khalili <i>et al.</i> (2014)	As estratégias P+L são fundamentalmente preocupados com as operações, a sustentabilidade ambiental, redução de resíduos, reciclagem e reutilização na empresa.

ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, para ambos os casos devem ser observadas os requisitos estabelecidos pelos órgãos competentes como o Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) e, se couber, do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (Suasa), conforme definido pela Política Nacional de Resíduos Sólidos de 2010 no Capítulo II, Art. 3º item XVIII para reutilização e XIV para reciclagem (BRASIL, 2010).

Entende-se por reciclagem primária como o reaproveitamento de peças defeituosas, aparas, rebarbas das linhas de produção da própria fábrica (Piva e Wiebeck, 2004). Os materiais reciclados adequam-se ao processo, preservando as propriedades físicas, químicas e mecânicas dos polímeros originais, isto é, consiste na conversão dos resíduos poliméricos industriais em produtos com características equivalentes àquelas dos produtos originais produzidos com polímeros virgens (Ehrig e Curry, 1992). Porém, devido a complexidade na qualidade do produto, o processo de reuso dos materiais reciclados resultam em quantidades inferiores, mas reduzem custos por entrar no processo de produção como carga de enchimento (CBIP, 2001; Sahnouné *et al.*, 2003)

Enquanto a reciclagem secundária é a transformação dos resíduos plásticos descartados em grânulos, para ser reutilizados na produção de outros materiais, como pisos, sacos de lixo, componentes de carros, etc. (Ehrig e Curry, 1992; Piva e Wiebeck, 2004). Os produtos obtidos apresentam características inferiores as da resina virgem (Ehrig e Curry, 1992; CBIP, 2001), conforme constado por Pennafort *et al.* (2013) que concluíram que as propriedades mecânicas do polímero reciclado se mostraram inferiores porque as suas propriedades foram modificadas durante o reprocessamento com reciclagem mecânica, a resina passou por um novo ciclo de aquecimento, facilitando a degradação térmica ao prejudicar a estabilidade das ligações C-Cl, resultando na saída de HCl da cadeia, formando duplas ligações de C=C.

Ressalta-se que tanto a reciclagem primária (utiliza polímeros pós-industrial) quanto a secundária (usa polímeros pós-consumo) é denominada reciclagem mecânica que é composta de cinco passos: 1) separação do resíduo polimérico, 2) moagem, 3) lavagem, 4) secagem e 5) reprocessamento (Ehrig e Curry, 1992). O processo de separação é imprescindível para retirar as impurezas.

Nos resíduos gerados pós-industrial é quase nula a quantidade de impurezas, mas nos resíduos pós-consumo é necessário cuidados na separação (Sandani, 2005).

A maneira mais utilizada para a separação dos resíduos poliméricos é a diferença de densidade, em que os resíduos são submetidos a tanques com água (Vilhena, 1999). Em seguida, aloca-se as simbologias com base nos seguintes tipos de polímeros: polietileno alta densidade (PEAD), polietileno baixa densidade (PEBD), polietileno granulado (PP), polietileno baixa densidade linear que pode ser branco ou preto (PEBDL) e polietileno baixa densidade reciclado (PEBDR), segundo ABNT (2008).

Após a separação, os resíduos poliméricos são enviados ao processo de moagem por meio de facas rotativas e em seguida lavados e secados. Nessa fase, os polímeros estão preparados para o reprocessamento na fabricação de novos produtos com qualidade assegurada, idêntico a um produto fabricado com material virgem (Ehrig e Curry, 1992). Porém, para garantir as propriedades mecânicas do produto deve-se utilizar até 30% dos resíduos polímeros como carga de enchimento no material virgem, evitando a deterioração dos produtos fabricados (Fernandes e Domingues, 2007).

A reciclagem terciária é dividida em duas categorias diferentes que reside na utilização do produto final: na reciclagem química o produto resultante somente é utilizado para produzir o material original (Piva e Wiebeck, 2004; BPF, 2011). Enquanto, na reciclagem de matéria-prima a estrutura química do material residual é modificada, de modo que os produtos químicos resultantes podem ser usados para outros fins que não a produção do material original, por exemplo o reprocessamento de plásticos descartados, transformando em petroquímicos básicos como monômeros ou misturas de hidrocarbonetos que servem como matéria-prima para produção de insumos químicos ou combustíveis a partir de resíduos poliméricos em refinarias ou centrais petroquímicas (Piva e Wiebeck, 2004; BPF, 2011).

A reciclagem quaternária ou energética é a recuperação de energia por intermédio do tratamento térmico aplicado aos resíduos poliméricos; isto é, processo tecnológico de recuperação de energia de resíduos plásticos por incineração (Spinacé e De Paoli, 2005). A energia contida em 1kg de plásticos é equivalente a 1kg de óleo combustível; portanto, a reciclagem de plásticos por esse processo pode economizar até 88% de energia elétrica, quando comparada com a produção a partir de derivados de petróleo (Franchetti e Marconato, 2003).

Vantagem ambiental e econômica da implantação de P+L

Embora exista muitos discursos à respeito das vantagens de se reciclar, é preciso que o empreendedor tenha em mente de que a reciclagem é um negócio que deve gerar resultado financeiro positivo, principalmente para as pequenas e as médias empresas, justificando a sua prática além do enfoque ambiental e educativo. Para isso, uma série de cuidados devem ser consideradas como, por exemplo, o conhecimento do mercado para garantir a compra dos resíduos a preços que possam sustentar a operação. É essencial que se tenha uma noção dos custos envolvidos bem como das oscilações de mercado para a compra e venda de seus respectivos produtos e jamais utilizar financiamento como forma de sobrevivência do negócio (ABIVIDRO, 2009). Em linhas gerais as ações de P+L devem gerar VA e VE para se tornar atrativa para o empresário (CNTL, 2003).

Após fundamentar sobre a possibilidade de conquistar VA e VE por meio de P+L realizou-se análise bibliométrica e de conteúdo para verificar: i) quais trabalhos aplicaram a ferramenta *material intensity factor* (MIF) para avaliar ganhos ambientais? ii) quais os resultados alcançados? e iii) quais as ferramentas da ecoeficiência foram utilizadas em conjunto com o MIF?

O MIF avalia o impacto ambiental nos compartimentos associados à extração de recursos naturais de seus ecossistemas (Ritthoff *et al.*, 2002; Wuppertal, 2013). Assim, para suprir o fluxo de material do sistema, uma quantidade maior de material foi anteriormente processada em vários compartimentos ambientais que são classificados em: bióticos, abióticos, água e ar, com interação entre si. O compartimento biótico incide no conjunto de todos os organismos vivos como plantas, enquanto o compartimento abiótico é o conjunto de fatores não vivos, mas que influenciam no meio biótico, como temperatura e pressão (Odum, 1998).

As análises i, ii e iii foram explicitadas na Tabela III. Entretanto, notou-se que o MIF consiste em uma metodologia utilizada em conjunto com outras ferramentas da ecoeficiência, conforme Seiler-Hausmann *et al.* (2004): 1) Avaliação do ciclo de vida (ACV): análise desde a aquisição da matéria-prima ou de sua geração a partir de recursos naturais até a disposição final; 2) Mochila ecológica: o consumo de energia e materiais para produção de determinado bem 'carrega' consigo um 'peso ambiental'; 3) Energia: energia total incorporada em um produto; 4) Sustentabilidade

TABELA III
ESTUDOS QUE AVALIARAM O FATOR DE INTENSIDADE DE MATERIAL (MIF)

Autores	Síntese	Vantagens ou resultados	Ferramentas da ecoeficiência
Federico <i>et al.</i> (2001)	O dispositivo típico de telefone móvel (T28 Ericsson) apresentou 75kg de <i>rucksack</i> (mochila ecológica), considerou produção, transporte e uso.	Faltou fluxo do consumo de energia de 2,416 10 ⁶ t exigidos pela rede para operar durante um ano. Ao considerar 41,4 milhões de assinantes italianos, resulta 183,85kg/usuário.	MIF e Mochila ecológica
Aoe e Michiyasu (2005)	<i>Rucksack</i> de TVs 36 polegadas produzidos em 1993 foi 19t (massa do produto 91,0kg) em 2003 foi 7,7t (79,5kg); portanto, redução de 60%.	Placa de PC representava menos 10% da massa do produto, mas 50% do <i>rucksack</i> . Evidenciaram com uso do MIF o fluxo de material oculto e apresentou nova abordagem para utilização dos recursos.	Avaliação do ciclo de vida, Mochila ecológica e MIF
Federici <i>et al.</i> (2008)	Com base nos dados comuns de material, energia e combustível utilizados na construção, manutenção e uso de estradas, ferrovias e veículos analisaram o impacto ambiental.	Concluíram que os fatores críticos no sistema de transporte não é o consumo de combustível, mas os custos de energia e materiais para a construção de infraestruturas e a sua intensidade de uso.	Energia, MIF, Análise de energia
Giannetti <i>et al.</i> (2008)	Empresa de joias no Brasil implantou P+L. Pequenas mudanças resultou em considerável ganho ambiental.	US\$115.881,70/ano foi o VE e VA 358.0952kg material abiótico, 1.998kg material biótico, 5.450.386kg na água, e 21.628kg no ar.	P+L, ACV, MIF e Energia
Cavalett <i>et al.</i> (2010)	Avaliaram a produção de biodiesel de soja no Brasil. Concluíram que a fração de combustível a ser considerada renovável é ~31%.	1 litro biodiesel perde 8,8kg solo na erosão; 0,2kg fertilizantes; 5,2m ² área de cultivo; 7,33kg material abiótico; 9,0t água; 0,66kg ar; 0,86kg CO ₂ liberados; e 0,27kg petróleo.	Energia e MIF
Oliveira Neto <i>et al.</i> (2010)	Fabricante de borracha que implantou P+L, com reaproveitamento de 18t. de poliuretano.	Vantagem econômica (VE) de R\$80.850,00/ano. Vantagem ambiental (VA) 135,36t material abiótico; 9.583,2t água; e 61,56t ar.	P+L e MIF
Ulgiati <i>et al.</i> (2010)	Analisaram vários estudos que aplicou Sustentabilidade multi-critérios de avaliação multi-escala (SUMMA), a fim de gerar uma visão abrangente dos processos investigados.	A abordagem integrada destacam os <i>trade-offs</i> permitindo selecionar a melhor opção em função das condições econômicas, tecnológicas e ambientais.	ACV, MIF, Energia e SUMMA
Vendrametto <i>et al.</i> (2010)	Estudaram empresas que eliminaram ou reutilizaram volumosa quantidade de embalagens. Concluíram que os conceitos de P+L não se aplicam apenas a fábrica, mas que a participação dos fornecedores é fundamental para obter o resultado.	Caso 1: VA 415t paletes madeira que resultou 2287t material biótico e 4150t água. VE R\$583.000,00/ano. Caso 2: VA 427kg papelão e 256kg sacos polietileno, representa 1.566kg material abiótico e 82.932kg água. VE R\$4.353,19 /semestral.	P+L e MIF
Monaco e Matteo (2011)	Avaliaram o desempenho energético da célula de combustível de carbonato fundido (2,5kw).	Análise de retorno negativa (15 anos) vigência do benefício, devido ao custo dos componentes de aço.	ACV, MIF e SUMMA
Agostinho e Ortega (2012)	Estudaram o etanol produzido pela <i>Integrated food, energy and environmental services production</i> (IFEES).	Identificaram que o desempenho ambiental global é melhor na integrada, mas a produtividade em larga escala é 25 vezes maior.	Mochila ecológica, Energia, ACV e MIF
Lettenmeier <i>et al.</i> (2012)	Avaliaram as pegadas de material de famílias que vivem com montante mínimo de benefícios sociais na Finlândia.	Não se pode aliviar a pobreza via crescimento econômico com o modelo atual que aumenta o consumo de recursos naturais.	MIF, Pegada de materiais e Mochila ecológica
Oliveira Neto <i>et al.</i> (2012)	Estudo de caso em uma empresa química que adequou o sistema produtivo à P+L com educação ambiental.	Economia: 269.600lit água e 820,06kwh energia mês. VE R\$5.966.507,00. VA 4885,56t mat. abiótico; 381560,27t água; e 794,44t ar.	P+L, Educação ambiental e MIF
Franzese <i>et al.</i> (2013)	Estudaram a entressafra de soja e milho e a produção de suínos na bacia do Rio Toledo (Brasil).	Para ser sustentável, necessidade de 50% redução na produção suínos e substituição de área agrícola por floresta até chegar a 20% da área florestal.	Energia, MIF, ACV, Pegada ecológica, de água e de carbono
Paoli <i>et al.</i> (2013)	Estudaram resíduos e subprodutos de produção, utilizando <i>Design for the environment</i> (DfE).	VA 2932377kg material abiótico, 36110930kg água, e 405929kg ar. VE R\$ 750.000,00/ano.	P+L, DfE e MIF
Spinelli <i>et al.</i> (2013)	Estudaram o biodiesel de girassol em Siena (Toscana) para redução de consumo de combustíveis fósseis no setor dos transportes.	Fase agrícola requer maior fluxos de materiais, pois depende da disponibilidade mundial dos recursos não-renováveis, como fertilizantes e óleo diesel.	ACV, Energia e MIF
Oliveira Neto <i>et al.</i> (2014)	Estudaram a implantação de P+L no fabricante de engrenagens para transmissões e motores a diesel.	VE US\$ 267.000,00/ano, VA de 1767111,60kg /unidade de entrada.	P+L e MIF

multi-critérios de avaliação multi-escala (SUMMA): método de apoio à tomada de decisão, que considera como variáveis o bem-estar social e econômico; 5) Pegada de materiais: análise do rendimento da massa total, ou pode se concentrar no consumo de insumos, ou apenas em resíduos; 6) Pegada ecológica: indica até onde se foi buscar os recursos naturais para subsidiar sistemas pouco sustentáveis e os danos causados; 7) Pegada de água: refere-se não apenas ao volume, mas também qual tipo de água foi usada, quando e onde a água foi usada; 8) Pegada de carbono: quantidade de emissões de CO₂ e outros gases de efeito estufa atribuíveis ao indivíduo; 8) *Design for the Environment* (DfE): significa que todas as considerações ambientais são parte integrante do projeto do produto, e outros em uma variedade de setores, para minimizar ou eliminar a poluição; e 9) Educação ambiental: consiste na realimentação das práticas de educação ambiental para práticas de P+L (Escrivão e Nagano, 2012).

Ressalta-se que no processo de revisão da literatura sobre a possibilidade de conquistar VA e VE por meio de ações de P+L notou-se incipiência de estudos quantitativos, que direcionou ao aprofundamento sobre avaliação dos impactos ambientais por meio da ferramenta da ecoeficiência MIF fundamentado por Ritthoff *et al.*, (2002) com apoio da Tabela do Instituto Wuppertall (2013). Neste contexto, não há artigos publicados em periódicos que realizaram estudo que relacionam MIF com P+L na reciclagem de polímeros, emergindo a oportunidade da realização desse estudo.

Portanto, é possível obter VE por meio de uso ecoeficiente dos recursos produtivos, permitindo reduzir custos com uso de matérias-primas recicladas, de acordo com as especificações técnicas, para que não deprecie a qualidade do produto e principalmente resultando na VA por meio da diminuição de resíduos e uso de energia e água, no controle da poluição e na melhoria da saúde e segurança do trabalho (CNTL, 2003). Assim, a ecoeficiência é uma filosofia proativa, adotada pelos setores industriais e que pode trazer vantagens competitivas (Giannetti e Almeida, 2006).

Estudo de Caso, Análise e Discussão dos Dados

Processo de reciclagem

A estrutura básica da empresa conta com uma área de 10.000m², que abriga um galpão dividido em quatro áreas: galpão industrial, escritório, vestiários e os sanitários. A operação da empresa

é constituída pela etapa de abastecimento, onde é a entrada dos polímeros virgem direto das usinas, no passo seguinte é a produção no qual é realizada extrusão, injeção, impressão se tiver na embalagem (rótulo) corte e solda, embalagem e expedição. A fase de envase/consumo é realizada no próprio cliente, o mesmo realiza o envase das embalagens para envio aos estabelecimentos onde os produtos ficam disponíveis ao consumidor final.

No caso do produto apresentar algum problema no processo de fabricação, tais como: falhas de preenchimento, excesso de rebarbas e peças defeituosas, dentre outros, o material é classificado para reuso e é processado juntamente com as aparas retiradas dos produtos fabricados. Esse material é reutilizado como carga de enchimento para fabricação de novos produtos. A reciclagem de resíduos poliméricos gerados na própria planta, desde que o material apresente características originais, utiliza-se a reciclagem primária (Ehrig e Curry, 1992).

A empresa em estudo também recolhe resíduos plásticos descartados, geralmente resultantes das campanhas estabelecidas pelos clientes. Nessa caso, efetua-se a reciclagem secundária, isto é, esses resíduos poliméricos não são reutilizados pela empresa porque as características físicas não são semelhantes aos polímeros virgens. Com isso, decidiu-se pela comercialização desses resíduos para uma empresa de fabricação de sacos de lixo.

A primeira fase do processo de reciclagem mecânica consiste na separação dos resíduos poliméricos por diferença de densidade para alocação da simbologia do tipo de resíduos, que são elucidados na descrição dos resíduos na Tabela I, conforme preceitua a ABNT (2008). Geralmente são feitas duas ou mais separações dos polímeros. Após a separação dos resíduos poliméricos efetua-se a moagem em partículas menores com o objetivo de facilitar o processo de extrusão e injeção do material (Ehrig e Curry, 1992). Especificamente nessa empresa não foi implantado sistema de lavagem e nem de secagem dos polímeros moídos porque os resíduos poliméricos eram captados no próprio sistema de produção, evitando contaminações de materiais estranhos. Os resíduos poliméricos captados dos clientes, após serem reciclados são comercializados diretamente sem a necessidade de lavagem e secagem. É possível estruturar o processo de reciclagem conforme a necessidade, dependendo da procedência da gestão dos resíduos poliméricos estabelecida pela empresa (Kaminsky, 1992).

No reprocessamento, realiza-se a conversão dos resíduos

poliméricos industriais (reciclagem primária) em produtos com características equivalentes aos produzidos com polímeros virgens (Ehrig e Curry, 1992), que recebe a indicação de polímeros puros. Essa indicação denota que os polímeros reciclados são puros e podem ser reusados como carga de enchimento no processo de fabricação com polímeros virgens, porém devem ser adicionados no máximo 30% do total de massa de matéria-prima virgem para não deteriorar as propriedades mecânicas do produto (Piva e Wiebeck, 2004; Fernandes e Domingues, 2007), sem o risco de afetar as condições técnicas do produto e garantir a qualidade e seu uso.

Assim, a transformação mecânica em novos materiais ou produtos, consiste em submeter os materiais plásticos a processos mecânicos, moldando-os fisicamente em uma forma diferente da original, preservando as propriedades físicas, químicas e mecânicas dos polímeros originais (Ehrig e Curry, 1992).

Na reciclagem primária, o volume de reuso é menor, porque o controle do processo é maior. As empresas evitam aumentar o custo do estoque, assim, implantam o processo de reciclagem e reuso de polímeros para reduzir a aquisição de polímero virgem. São reaproveitados após serem moídos, originando produtos com características idênticas ao polímero virgem (CBIP, 2001). No processo de reciclagem primária utiliza-se o polímero reciclado junto com o polímero virgem. Essa mistura é possível, conforme explicado, porque os polímeros foram analisados, selecionados e classificados como polímeros puros, podendo ser utilizado como carga de enchimento, garantindo as características técnicas dos produtos fabricados (ABNT, 2008).

A empresa em estudo considera para a produção de 100.000kg do polímero PEBD utilizar 1.000kg de polímero reciclado (1%); para produção de 70.000kg de PEAD o uso de 600kg do reciclado (0,86%); para 23.000kg de produção PP, 200kg do reciclado (0,87%); e para a produção de 12.500 PEBDL preto adiciona 300kg do reciclado (2,4%) que são constituídos de resíduos poliméricos PEBDL branco e PEBDL preto. Ressalta-se que a empresa em questão, considerando individualmente cada resíduo polimérico, os reutiliza dentro dos padrões de 30% como carga de enchimento no total de material virgem para garantir a qualidade dos produtos fabricados (Fernandes e Domingues, 2007). Os dados comprovaram que a quantidade adicionada foi adequada e não houve perda de qualidade no produto final.

Um aspecto relevante foi que o PEBDR oriundo da reciclagem secundária apresentou características inferiores as da resina virgem (Ehrig e Curry, 1992; CBIP, 2001). Por isso não foram utilizados como carga de enchimento na fabricação de novos produtos, mas foi comercializado para empresas de fabricação de sacos de lixo. Salienta-se que o polímero reciclado procedente da reciclagem secundária não é reaproveitado pela empresa em estudo, em virtude da decisão dos gestores em garantir a qualidade do produto final fabricado. Assim, ao entrar na empresa são identificados na embalagem como tal, e possui um valor menor de venda.

Resultados da implantação da P+L

Após identificar as condições técnicas para a reciclagem dos resíduos poliméricos provenientes de sobras e aparas, a empresa implantou a P+L por meio de reciclagem primária e secundária no sistema produtivo em ciclo fechado (Piva e Wiebeck, 2004), que resultou em VA e VE para a organização.

A empresa tratou os resíduos sólidos por meio da reciclagem primária e mecânica, por serem as mais difundidas nos meios produtivos, e necessitar de pouca tecnologia para implantação, porque essas técnicas consistem na seleção e limpeza de resíduos poliméricos originários da produção ou de material descartados. Posteriormente o material é enviado para trituração, produzindo flocos, que são lavados, secos e depois submetidos a uma extrusora para produção dos grãos do material. O granulado é misturado com materiais novos do mesmo tipo para ser novamente processados.

Optou-se pela reciclagem de polímeros para produzir matéria-prima reciclada (Piva e Wiebeck, 2004) que é composto por uma série de operações unitárias como: ruptura dos aglomerados plásticos coletados (ensaio de tração para verificar comportamento do material quanto a deformação por tração, módulo elástico, tensão máxima de ruptura e alongamento máximo), seleção manual, redução de tamanhos, lavagem, filtragem, enxague, separação, centrifugação, secagem ar quente, extrusão, granulação, peletização, silo e empacotamento do produto final.

Vantagem ambiental (VA) na implantação da P+L

Nesta seção será avaliada por meio do MIF a VA da implantação da reciclagem de polímeros em ciclo fechado em um processo de P+L. Constatou-se na literatura seis trabalhos que utilizaram o MIF em conjunto com o

P+L. Três trabalhos (50%) tiveram o foco na mudança de processo em variados segmentos (joalheiro, Giannetti *et al.*, 2008; químico, Oliveira Neto *et al.*, 2012; e autotopeças, Oliveira Neto *et al.*, 2014); um (16,7%) reuso de embalagens em uma empresa automobilística (Vendrametto *et al.*, 2010); um (16,7%) desenvolveu um projeto em uma empresa de usinagem de grande porte (Paoli *et al.*, 2013); e apenas um trabalho (16,7%) aplicou o MIF em conjunto com P+L em processos de reciclagem de borracha, que contabilizou ganho ambiental por ano de 135,36t de material abiótico, 9583,2t de água e 61,56t de ar (Oliveira Neto *et al.*, 2010).

Os resultados mostraram que o total de materiais (em massa) que não foram dispensados no meio ambiente devido à reciclagem de 21.600kg de resíduos de polímeros por mês (Tabela IV, material por mês reciclado). Para determinar MIF o fluxo de entrada de massa (material por mês reciclado) foi multiplicado pelo IF da Tabela I. Por exemplo, notou-se que do insumo PEBD foi reciclado 1000kg por mês e na Tabela I mensura o IF do compartimento abiótico de 2,49, logo se tem 2.490,0kg de massa de material que não poluiu a natureza (Tabela IV).

Com implantação da reciclagem no sistema produtivo evitou-se contaminação no compartimento abiótico em 46.396,0kg mensais (soma dos MIFs do compartimento abiótico), que contribuiu com a redução da poluição que causa o aquecimento global, o desgaste da camada de ozônio etc. Outro aspecto foi deixar de contaminar a água em 3.402.480,0kg (soma dos MIFs do compartimento água) e o ar em 58.594,8kg mensais (soma dos MIFs do compartimento ar). Ao considerar a soma dos compartimentos constatou-se a redução da poluição em 3.507.470,8kg via reciclagem de 21.600kg resíduos mensais.

Vantagem econômica (VE) na implantação da P+L

Nesta seção será apresentada a VE e o retorno sobre o investimento na implantação de P+L na reciclagem de polímeros. Segundo CNTL (2003) é possível obter VE por meio de uso eficiente dos recursos produtivos, permitindo reduzir custos com o uso de materiais reciclados dentro das especificações técnicas, de modo que não deprecie a qualidade do produto. Para tanto, é necessário uma realimentação das práticas de educação ambiental para práticas de P+L (Escrivão e Nagano, 2012).

Embora existam muitos discursos a respeito das vantagens de se reciclar, é preciso que o empreendedor tenha em mente de que o seu negócio é como qualquer outro, isto é, deve gerar lucros para que possa ser sustentável. Assim, recomenda-se examinar a rentabilidade do processo de reciclagem, apontando pelo menos o custeio das despesas operacionais com esse processo. Porém, é possível obter retorno sobre o investimento (ROI). Logo, é possível combinar as vantagens econômicas com a preservação da natureza.

Após estudar e avaliar todas as possíveis complicações para a implantação da reciclagem, a empresa decidiu por investir R\$372.200,00 nos equipamentos para iniciar o processo de reciclagem primária e promover P+L. Informou que o ganho preponderante com a implantação da reciclagem de 21.600,0kg foi a economia obtida na aquisição da matéria-prima de R\$75.384,00/mês, considerando que cada kg de polímero virgem de qualidade seja de R\$3,49.

O período do retorno sobre investimento foi calculado como: R\$372.200,00 (investimento) / R\$75.384,00 (lucro líquido), logo, foi possível retornar o

TABELA IV
VANTAGENS AMBIENTAIS NA IMPLANTAÇÃO DE RECICLAGEM NO SISTEMA PRODUTIVO

Resíduos	Total produção (kg)	Material reciclado (kg)/mês	Fator de intensidade de material (MIF)			Redução do impacto ambiental por resíduo gerado (kg)
			Abiótico	Água	Ar	
PEBD	100000	1000	2490,0	122200,0	1617,0	126307,0
PEAD	70000	600	1512,0	63540,0	1142,4	66194,4
PP	23000	200	418,0	7160,0	296,4	7874,4
PEBDR	19500	19500	41340,0	3160950,0	54697,5	3256987,5
PEBDL	25000	300	636,0	48630,0	841,5	50107,5
Total de redução de impacto ambiental por compartimento			46396,0	3402480,0	58594,8	
Redução do impacto ambiental total em kg						3507470,8

PEBD: polietileno baixa densidade, PEAD: polietileno alta densidade, PP: polipropileno granulado, PEBDR: polietileno de baixa densidade reciclado, PEBDL: polietileno baixa densidade linear branco e preto.

capital investido em equipamentos para reciclagem de polímeros em cinco meses e depois passou a ter uma receita extra mensal de R\$75.384,00.

Comparação entre VA e VE com a implantação da P+L na reciclagem de plástico

O reaproveitamento de 21.600,0kg mensais (soma dos materiais) de resíduos de polímeros corresponde a 46.396,0kg de redução de material no nível abiótico, a 3.402.480,0kg na água e 58.594,8kg no ar. Os benefícios financeiros pelo reaproveitamento de 21.600,0kg por mês foi de R\$75.384,00. Portanto, se for estabelecida a razão (material economizado com reuso e reciclagem (MERR) / dinheiro economizado (DE)), ele aumenta de 0,29kg considerando só os materiais reaproveitados para 46,53kg quando são considerados os materiais de todos os compartimentos (MTC), conforme Figura 1.

Considerações Finais

Este estudo mostrou que a empresa obteve ganho econômico de R\$75.384,00 mensais e benefícios ambientais pelo reaproveitamento de 21.600,0kg de resíduos de polímeros pela implantação da reciclagem em ciclo fechado no sistema produtivo e evitou poluir 46.396,0kg de materiais no nível abiótico, 3.402.480,0kg na água e 58.594,8kg no ar. Portanto, mostrou que é possível obter VA e VE com a gestão de resíduos sólidos implantando P+L porque essas vantagens podem ser mensuradas e comparadas com a utilização do MIF.

É importante informar que a organização investiu em infraestrutura de reciclagem o montante equivalente

a R\$372.200,00 e que o retorno desse investimento foi em cinco meses. Os dados mostraram que os benefícios ambientais são mais relevantes. Sobre a VE cada real economizado corresponde a 0,29kg de material e quando se considera a escala global, por cada real, há um benefício de 46,53kg de material que não é alterado nem extraído do meio ambiente.

Este estudo foi relevante porque mesmo com poucos dados disponíveis foi possível identificar o VE atendendo os requisitos de preservação do meio ambiente. Além disso, o estudo contribuiu para que os dirigentes de pequenas e médias empresas se sintam motivados a implantarem P+L e participarem do desenvolvimento sustentável e para a academia uma metodologia simples e prática de se avaliar os projetos de implantação de P+L.

Para as pesquisas futuras recomenda-se que a mesma metodologia seja replicada envolvendo mais empresas do setor de polímeros para se ter uma visão mais abrangente dos benefícios da P+L, porque a limitação desta pesquisa reside no estudo de caso único.

REFERÊNCIAS

ABIVIDRO (2009) *Benefícios da Reciclagem do Vidro*. Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidros. www.abividro.org.br (Cons. 12/01/2015).

ABNT (2008) *NBR 13230: Simbologia Indicativa de Reciclabilidade e Identificação de Materiais Plásticos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Brasil.

Agostinho F, Ortega E (2012) Integrated food, energy and environmental services production as an alternative for small rural properties in Brazil. *Energy* 37: 103-114.

Aoe T, Michiyasu T (2005) 'Ecological Rucksack' of high-definition TVs. *Mat. Transact.* 46: 2561-2566.

Baas L, Hofman H, Huisingh DV, Huisingh J, Koppert P, Neumann F (1990) *Protection of the North Sea: Time for Clean Production*. Erasmus Centre for Environmental Studies. Erasmus University. Rotterdam, Holanda. 79 pp.

BRASIL (2010) *Decreto-Lei no 12.305*, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. DOU de 3/8/2010.

Brundtland Report (1987) *Our Common Future*. World Commission on Environment and Development. 27 pp.

BPF (2011) *Plastics Recycling*. British Plastics Federation. www.bpf.co.uk/sustainability/plastics_recycling.aspx (Cons. 15/01/2015).

Cavalett O, Ortega E (2010) Integrated environmental assessment of biodiesel production from soybean in Brazil. *J. Clean. Prod.* 18: 55-70.

Chen W, Warren KA, Duan N (1999) Incorporating cleaner production analysis into environmental impact assessment in China. *Environ. Impact Assess. Rev.* 19: 457-476.

CNTL (2003) *Implementação de Programas de Produção mais Limpa*. Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/UNIDO/UNEP. Porto Alegre, Brasil. 42 pp.

Denzin NK (1989) *The Research Act*. 3ª ed. McGraw Hill. Nova York, EEUU. XXXpp.

Dunn R, Bush GE (2001) Using process integration technology for cleaner production. *J. Clean. Prod.* 9: 1-23.

Ehrig RJ, Curry MJ (1992) *Plastics Recycling: Products and Processes*. Oxford University Press. Nova York, EEUU. XXX pp.

Ellenbever M, Geiser K (2011) At the source: the origins of the Massachusetts toxics use reduction program and an overview of this special issue. *J. Clean. Prod.* 19: 389-396.

Escrivão G, Nagano MS (2012) Gestão do conhecimento na educação ambiental: estudo de caso no programa de educação ambiental da Universidade de São Paulo, Brasil. *Inter-ciência* 37: 29-35.

EuPR (2013) *How to boost plastics recycling and increase resource efficiency?* European Plastics Recyclers Association http://piweb.plasteurope.com/members/pdf/p223949b.PDF (Cons. 12/01/2015).

Federici M, Ulgiati S, Basosi R (2008) A thermodynamic, environmental and material flow analysis of the Italian highway and railway transport systems. *Energy* 33: 760-775.

Federico A, Musmeci F, Mancini DP (2001) MIPS of the Italian mobile telephone network. Em *Open Meeting of the Global Environmental Change Research Community*. Rio de Janeiro, Brasil. 6 pp.

Fernandes BL, Domingues AJ (2007) Caracterização mecânica de polipropileno reciclado para a indústria automotiva. *Polím. Ciênc. Tecnol.* 17: 85-87.

Franchetti SMM, Marconato JC (2003) A importância das propriedades físicas dos polímeros na reciclagem. *Quím.Nova na Escola* 18.

Franzese PP, Cavalett O, Häyhä T, D'Angelo S (2013) *Integrated Environmental Assessment*

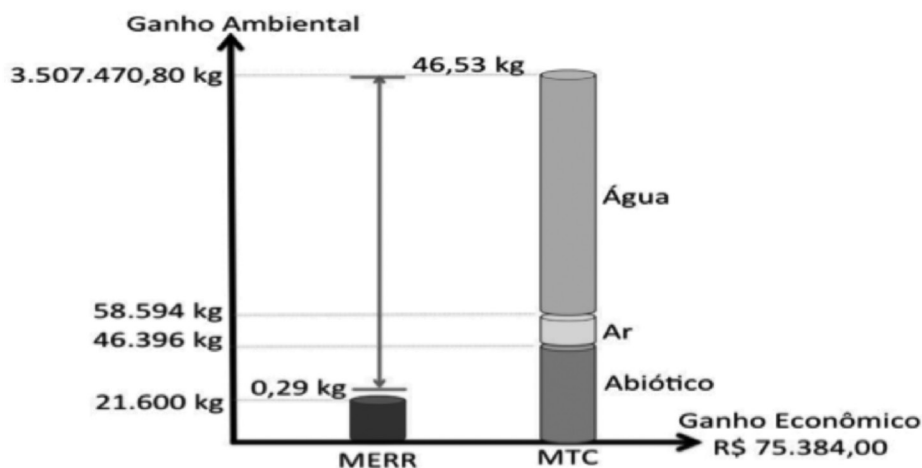


Figura 1. Comparação entre vantagem ambiental e econômica. MERR: material economizado com reuso e reciclagem, MTC: materiais de todos os compartimentos.

- of *Agricultural and Farming Production Systems in the Toledo River Basin (Brazil)*. Unesco. Paris, França. 46 pp.
- Fresner J (1998) Cleaner production as a means for effective environmental management. *J. Clean. Prod.* 6: 171-179.
- Giannetti BF, Bonilla SH, Silva IR, Almeida CMVB (2008) Cleaner production practices in a medium size gold-plated jewelry company in Brazil: when little changes make the difference. *J. Clean. Prod.* 16: 1106-1117.
- Hammed MM, Mahgary YE (2004) Outline of a national strategy for cleaner production: The case of Egypt. *J. Clean. Prod.* 12: 327-336.
- Hicks C, Dietmar R (2007) Improving cleaner production through the application of environmental management tools in China. *J. Clean. Prod.* 15: 395-408.
- Jackson T (1993) *Clean Production Strategies*. T. Jackson. Boca Raton, FL, EEUU. 415 pp.
- Kaminsky W (1992) *Plastics, Recycling*. Em *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley-VHC. Weinheim. 64 pp.
- Khalili, NR, Duecker, S, Ashton, W, Chavez, F (2014) From cleaner production to sustainable development: the role of academia. *J. Clean. Prod.* 14, 14 pp., <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.099>.
- Kjaerheim G (2005) Cleaner Production and sustainability. *J. Clean. Prod.* 13: 329-339.
- Koushal V, Sharma R, Sharma M, Sharma R, Sharma V (2014) Plastics: issues challenges and remediation. *Int. J. Waste Resour.* 4(1), 6 pp. doi: 10.4172/2252-5211.1000134
- Lettenmeier M, Hirvilammi T, Laakso S, Lähteenoja S, Aalto K (2012) Material footprint of low-income households in Finland -Consequences for the sustainability debate. *Sustainability* 4: 1426-1447.
- Lindsey T (2011) Sustainable principles: common values for achieving sustainability. *J. Clean. Prod.* 19: 561-565.
- Monaco A, Matteo UD (2011) Life cycle analysis and cost of a molten carbonate fuel cell prototype. *Int. J. Hydrog. Energy* 36: 8103-8111.
- Odum EP (1998) *Ecologia*. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, Brasil. XXX pp.
- Oliveira Neto GC, Chaves LEC, Vendrametto O (2010) Vantagens econômicas e ambientais na reciclagem de poliuretano em uma empresa de fabricação de borracha. *Exacta* 8: 65-80.
- Oliveira Neto GC, Vendrametto O, Azzolini WJr, Bonilla SH (2012) Planejamento e controle da produção com educação ambiental: um estudo de caso em uma empresa do segmento químico. *Uniar 15*: 54-77.
- Oliveira Neto GC, Souza SM, Baptista EA (2014) Cleaner production associated with financial and environmental benefits: a case study on automotive industry. *Adv. Mat. Res.* 845: 873-877.
- Ortiz A, Izquierdo H, Monroy CR (2013) Gestión ambiental en pymes industriales. *Interiencia* 38: 179-185.
- Paoli FM, Oliveira Neto GC, Lucato WC (2013) Economic and environmental gains resulting from the utilization of the design for the environment (DfE). *Espacios*. 34: 11.
- Pennafort LCGJr, Silva FR, Deus EC (2013) Avaliação e caracterização de tubos fabricados com PVC reciclado. *Polímeros* 23: 547-551.
- Piva MA, Wiebeck H (2004) *Reciclagem do Plástico*. Artliber. São Paulo, Brasil. 11 pp.
- Ritthoff M, Rohn H, Liedtke C (2002) *Calculating MIPS*. www.wupperinst.org/uploads/tx_wiberitag/MIT_v2.pdf. (Cons. 12/01/2015).
- Sahnoun F, Lopez Cuesta JM, Crespy A (2003) Improvement of the mechanical properties of an HDPE/PS blend by compatibilization and incorporation of CaCO₃. *Polym. Eng. Sci.* 43: 647-660.
- Sandani G (1995) Chemical treatment devulcanizes rubber crumbs for recycling. *Chem. Eng.* 102(15): 17-19.
- Seidman IE (1991) *Interviewing as Qualitative Research. A Guide for Researchers in Education and the Social Sciences*. Columbia University Press. Nova York, EEUU. 11 pp.
- Seiler-Hausmann JD, Liedtke C, von Weizsacker E (2004) *Eco-efficiency and Beyond. Towards the Sustainable Enterprise*. Greenleaf. Sheffield, RU. 13 pp.
- Spinacé MAS, De Paoli MA (2005) A tecnologia da reciclagem de polímeros. *Quim. Nova* 28: 65-72.
- Spinelli D, Pogni SJR, Basosi R (2013) Environmental and life cycle analysis of a biodiesel production line from sunflower in the Province of Siena (Italy). *Energy Policy* 59: 492-506.
- Tseng M, Lin Y, Chiu ASF (2009) Fuzzy AHP-based study of cleaner production implementation in Taiwan PWB manufacturer. *J. Clean. Prod.* 17: 1249-1256.
- Ulgiati S, Ascione M, Bargigli S, Cherubini F, Federici M, Franzese PP, Raugi M, Viglia S, Zucaro A (2010) Multi-method and multi-scale analysis of energy and resource conversion and use. Em Barbir F, Ulgiati S (Eds.) *Energy Options Impact on Regional Security*. NATO Science for Peace and Security Ser. C: Environmental Security. Springer. Holanda. pp. 1-36.
- Security. NATO Science for Peace and Security Ser. C: Environmental Security. Springer. Netherlands. pp. 1-27.
- UNEP (1994) *Government Strategies and Policies for Cleaner Production, UNEP Industry & Environment*. United Nations Environment Programme. Paris, França. 3 a 8 pp.
- UNEP (2001) *Cleaner Production: Implementation Guidelines for Governments. UNEP's International Declaration on Cleaner Production*. United Nations Environment Programme. Paris, França. 4 pp.
- UNEP (2006) *Applying Cleaner Production to MEAs: Global Status Report*. United Nations Environment Programme. Paris, França. 20 pp.
- Van Berkel R (2000) Cleaner production for process industry: Overview of the cleaner production concepts and relation with other environmental management strategies. *Plenary Lecture*, 1-22.
- Van Berkel R (2007) Cleaner production and eco-efficiency initiatives in Western Australia 1996 e 2004. *J. Clean. Prod.* 15: 741-755.
- Vendrametto O, Palmeri N, Oliveira Neto GC, Perretti OA (2010) Cleaner production: a growing movement in Brazilian companies. *Produção* 10: 49-70.
- Vilhena A (1999) *Guia de Coleta Seletiva de Lixo*. 1ª ed. CEMPRE. São Paulo, Brasil. 26 pp.
- Wang J (1999) China's national cleaner production strategy. *Environ. Impact Assess. Rev.* 19: 437-456.
- Wuppertal (2013) *Calculating MIPS, resources productivity of products and services*. Wuppertal Institute. www.wupperinst.org/uploads/tx_wiberitag/MIT_v2.pdf (Cons. 12/01/2015).
- Yin RK (2013) *Case Study Research. Design and Methods*. 5ª ed. Sage. Los Angeles, EEUU. 3-9 pp.
- Yuksel H (2008) An empirical evaluation of clean production practices in Turkey. *J. Clean. Prod.* 16: 50-57.
- Zhi-Dong L, Shu-Shen Z, Yun Z, Yong Z, Li W (2011) Evaluation of cleaner production audit in pharmaceutical production industry: case study of the pharmaceutical plant in Dalian, P. R. China. *Clean Tech Environ. Policy* 13: 195-206.
- Zhou J, Gou X, Shi Z (2010) Overview of cleaner production audit. *Eng. Mat.* 439: 1533-1536.

CLEANER PRODUCTION: A STUDY OF THE ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ADVANTAGE IN POLYMER RECYCLING

Geraldo Cardoso de Oliveira Neto, Fábio Ytoshi Shibao, Moacir Godinho Filho and Luiz Eduardo Carvalho Chaves

SUMMARY

This study evaluated the environmental and economic advantages of the implementation of cleaner production (CP) in a plastic manufacture by the use of in closed-loop recycling of polymers. The research method used was a qualitative case study employing semi-structured interviews and participant observation, and a quantitative one to assess the material intensity factor (MIF). Results indicated environmental benefits by reducing pollution in 3.507.470,8kg and economic advantages

of R\$75.384,00 monthly with the reutilization of 21.600,0kg of polymer waste, with the implementation of CP. Thus, the study helped motivate managers of small and medium-sized companies to implement CP because one can quickly identify the environmental and economic benefits of the project and provides the academy a simple and practical methodology to evaluate the CP deployment projects, especially when there is little available data.

PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA: UN ESTUDIO DE LA VENTAJA AMBIENTAL Y ECONÓMICA DEL RECICLAJE DE POLÍMEROS

Geraldo Cardoso de Oliveira Neto, Fábio Ytoshi Shibao, Moacir Godinho Filho y Luiz Eduardo Carvalho Chaves

RESUMEN

Este estudio evaluó las ventajas ambientales y económicas de la aplicación de la Producción más Limpia (P+L) en un fabricante de plásticos empleando reciclaje de polímeros en circuito cerrado. El método utilizado fue el estudio cualitativo realizado a través de entrevistas semi-estructuradas y observación participante, y cuantitativo para evaluar el material intensity factor (MIF). Los resultados indicaron beneficios ambientales con la reducción de la contaminación en 3.507.470,8kg y venta-

jas económicas de R\$75.384,00 mensuales por la reutilización de 21.600,0kg residuos de polímeros con la implementación del P+L. Por lo tanto, el estudio ayudó a motivar a los líderes de pequeñas y medianas empresas a implementar P+L, porque se puede identificar rápidamente los beneficios ambientales y económicos del proyecto, y para la academia presenta una metodología simple y práctica para evaluar el proyecto implementación de P+L, sobre todo cuando se cuenta con escasos datos disponibles.