

## **Ecodesign e Análise Paramétrica Preliminar: facilitando a desmontagem e a reciclagem de garrafas PET**

Cristian Amaral Santos Menezes  
Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – São Paulo - Brasil  
[casm@gmail.com](mailto:casm@gmail.com)

Maria Lúcia Pereira da Silva  
Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – São Paulo - Brasil  
[malu@lsi.usp.br](mailto:malu@lsi.usp.br)

### **Resumo:**

O presente trabalho mostra os resultados preliminares da análise paramétrica de ecoeficiência das garrafas PET, destinadas ao armazenamento de refrigerantes, com o objetivo de propor a redução e mudança de materiais de produção das embalagens, visando à melhoria das condições de reciclabilidade dessas garrafas. Os resultados observados para as garrafas PET de 2,0L indicaram que a reformulação no desenho da embalagem possibilitou uma redução de 4,4% no uso de materiais termoplásticos, além de redução de 90,6% na área de aplicação de cola. Constatou-se também maior consumo de materiais termoplásticos para as garrafas que armazenam volumes inferiores a 1,5L de refrigerante se comparada às de 2 L.

**Palavras - chave:** Análise paramétrica, Ecodesign, Desmontagem, Garrafas PET.

### **Introdução:**

A ecoeficiência baseia-se no princípio de que a redução de materiais e energia por unidade de produto ou serviço aumenta a competitividade da empresa, ao mesmo tempo que reduz as pressões sobre o ambiente, seja como fonte de recurso, seja como depósito de resíduos[1]. O *ecodesign* de embalagens voltado a reciclagem enfatiza a importância de evitar o excesso de embalagens, utilizar material somente onde for realmente útil e projetar a embalagem como parte integrada do produto [5].

“*Design for Disassembly*” quer dizer conceber e projetar produtos facilitando a sua desmontagem. Significa, portanto, tornar ágeis e econômicos o desenvolvimento das partes componentes e a separação dos materiais. Por sua vez, poder separar mais facilmente os materiais facilita, por um lado, a reciclagem quando os materiais são incompatíveis entre si e, por outro, o isolamento quando os materiais são tóxicos ou danosos [6]. Os processos de reciclagem mecânica do polietileno tereftalato (PET) a partir de garrafas produzem flocos ou grãos e geralmente consistem nas seguintes etapas: seleção, trituração, moagem, lavagem, separação por diferença de densidade, secagem e extrusão (opcional). Após a secagem dos flocos, o material termoplástico pode sofrer extrusão e ser

transformado em grãos para várias aplicações. Esta é a etapa crítica do processo, pois durante o processo de fusão do material para produção dos grãos, a presença de pequenas quantidades de contaminantes causa termodegradação diminuindo a qualidade e limitando as suas aplicações [4]. Os principais contaminantes do PET são: adesivo, outros termoplásticos, em especial o PVC (policloreto de vinila), metais, areia e terra, além de ferrugem. Outro problema é a recorrência de embalagens multicoloridas em vários produtos embalados com PET, denotando um foco gerencial muito mais centrado na ampliação do consumo do que na responsabilidade ambiental [4].

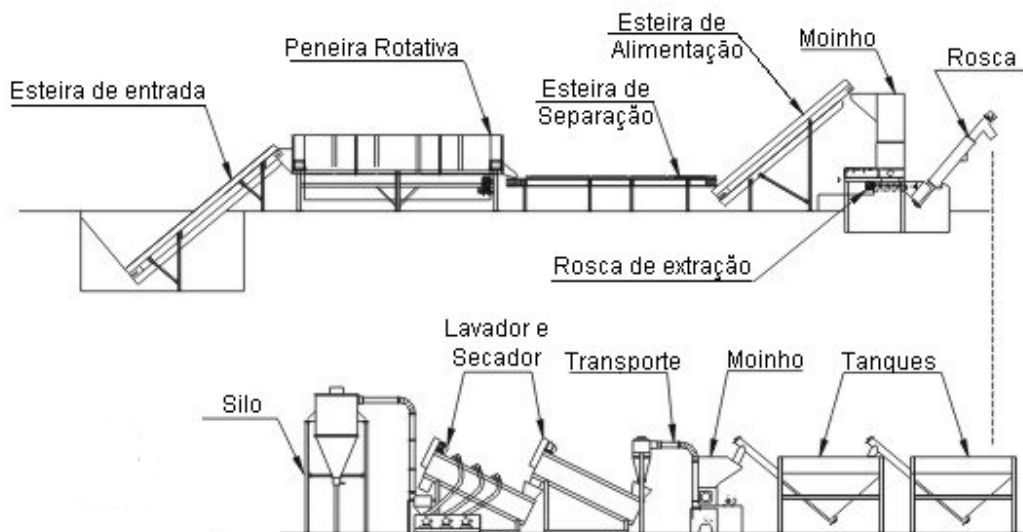


Figura 1 – Linha de moagem, lavagem e descontaminação de garrafas PET: a introdução de rótulos sem emendas e sem adesivos pode reduzir o consumo de água e energia no processo de reciclagem, além de reduzir a heterogeneidade do produto final (Fonte: [www.recicláveis.com.br](http://www.recicláveis.com.br)).

A desmontagem do lacre e a retirada do rótulo são fatores que dificultam e encarecem o processo de reciclagem das garrafas PET [5,8]

A análise paramétrica pode ser conceituada como um método de comparação dos produtos em desenvolvimento com produtos já existentes, baseando-se em certas variáveis chamadas parâmetros comparativos, que abrangem os aspectos quantitativos, qualitativos e de classificação [2].

Um parâmetro quantitativo é algo que pode ser medido e geralmente se refere as avaliações de parâmetros tais como área, volume, massa, espessura, pressão, temperatura e vazão ou variáveis que reflitam o desempenho do produto durante a sua produção, armazenamento, utilização, descarte ou reciclagem.

Parâmetros qualitativos são aqueles que servem para comparar ou ordenar os produtos, mas não apresentam uma medida absoluta, por exemplo o grau de dificuldade de remoção do lacre ou do rótulo das garrafas PET de refrigerantes. Os parâmetros de classificação indicam certas características dos produtos, entre as diversas possíveis.

A análise paramétrica pode ser aplicada nos estágios finais do processo de desenvolvimento de novos produtos. Nesse caso, ela é utilizada para resolver algum aspecto particular, em que esse produto ainda esteja falhando. Então, pode se indicar qual é o parâmetro necessário para que o produto se torne completamente satisfatório [2].

Nesse sentido, o presente trabalho analisa garrafas PET com diferentes volumes empregando a análise paramétrica proposta por Baxter [2] como ferramenta para avaliar o “*Design for Disassembly*” e propor melhorias que facilitem a sua reciclagem após o consumo.

### **Metodologia:**

O presente trabalho utiliza a metodologia de análise paramétrica para comparar seis parâmetros das garrafas PET destinadas ao armazenamento de refrigerantes: a capacidade volumétrica de armazenamento do produto, a massa total dos termoplásticos da embalagem, massa do rótulo, área do rótulo, área de aplicação de cola na superfície da garrafa e a facilidade de retirada do rótulo. Esses parâmetros foram considerados importantes para a desmontagem e reciclagem mecânica das garrafas PET, baseando-se na descrição das operações unitárias necessárias para a reciclagem das garrafas [4,7,8]

Após o consumo do refrigerante, as garrafas PET coletadas em diferentes residências foram lavadas com água potável e secas com a boca vertida para baixo até completa remoção da umidade interna. Posteriormente todas as garrafas foram pesadas em balança analítica com precisão de 0,01 g para determinação da massa total de material termoplástico, que envolveu o corpo da garrafa, a tampa, o lacre e seu rótulo. A área do rótulo e área de aplicação de adesivo foram medidas com o auxílio de uma régua milimetrada de aço da marca Mitutoyo com precisão de 0,1 mm. A relação entre a massa de embalagem (vazia e seca) e o volume de refrigerante armazenado (descrito no rótulo) forneceu o indicador de ecoeficiência do consumo de material termoplástico. O segundo indicador de ecoeficiência foi obtido a partir da relação entre a massa do rótulo e sua área. Diversos rótulos de refrigerante são feitos a partir de filmes de polipropileno bi-orientado perolizado (BOPP). Filmes termoplásticos de rótulos que foram bi-orientados apresentam menor consumo de termoplástico por unidade de área em relação aos filmes mono-orientados feitos a partir do mesmo material.

## Resultados

### 1. Análise Paramétrica

A Tabela 1 mostra os resultados da análise paramétrica das garrafas PET com volumes variando entre 3,3 a 0,5 litros.

Tabela 1 - Análise paramétrica das garrafas PET que armazenam refrigerantes.

Garrafa PET	Volume (Litros)	Massa total dos termoplásticos da embalagem (gramas)	Área do rótulo (cm <sup>2</sup> )	Massa do rótulo gramas	Área de cola (cm <sup>2</sup> )	Retirada manual do rótulo	Massa do rótulo em relação à área do rótulo (g/cm <sup>2</sup> x 10 <sup>-3</sup> )	Massa de termoplástico em relação ao volume de produto armazenado (g/L)
A	3,30	70,52	350,2	1,02	13,5	Fácil	2,9	21,34
B	2,25	57,50	396,0	1,01	26,3	Muito difícil	2,6	25,56
C	2,00	51,02	198,0	0,63	4,4	Fácil	3,2	25,51
D	2,00	60,54	258,0	0,65	15,4	Médio	2,5	30,27
E (*)	2,00	54,14	387,6	1,15	63,8	Difícil	3,0	27,07
F (**)	2,00	51,75	198,0	0,68	6,0	Difícil	3,4	25,88
G	1,50	49,82	218,4	0,69	15,0	Difícil	3,2	33,21
H	0,60	32,59	112,5	0,28	9,5	Fácil	2,5	54,32
I	0,50	28,08	142,0	0,43	15,0	Difícil	3,0	56,16

(\*) Garrafa antes de reformulação e (\*\*) Garrafa após reformulação com ecodesign

As garrafas PET com áreas de cola maiores apresentaram maior dificuldade para a retirada manual do rótulo, o que pode contribuir para dificultar a desmontagem do produto na etapa de reciclagem. A garrafa PET mais ecoeficiente, que utiliza menos material por unidade de volume de produto armazenado, é a de 3,3 L.

As garrafas com volumes pequenos (0,6L e 0,5L) apresentam menor ecoeficiência, representando entre 54 a 56 gramas de termoplásticos por litro de refrigerante armazenado contra 21 a 33 gramas de termoplásticos por litro de refrigerante para as garrafas que armazenam entre 1,5 e 2,0 L.

## 2. Avaliação visual das amostras

A Figura 2 apresenta um lote de amostras, com rótulos descaracterizados.



Figura 2 – Comparação das áreas dos rótulos e formatos das garrafas PET.

A Tabela 2 apresenta o coeficiente de variação mássica de garrafas PET de 2 L para 5 diferentes fabricantes.

Tabela 2 - Variabilidade mássica entre as garrafas PET de 2 L para 5 diferentes fabricantes de refrigerantes.

Parâmetro	Massa Média em gramas	Desvio padrão	Coeficiente de variação
Tampa e lacre	3,09	0,12	3,94%
Garrafa	49,75	2,75	5,52%
Rótulo	0,83	0,24	29,24%

Para as garrafas PET de 2L, as massas das garrafas (CV = 5,53%), massas dos rótulos (CV= 29,24%) e área de aplicação de cola (CV= 97,6%) foram os parâmetros que apresentaram maior variabilidade.

A Figura 3 apresenta duas garrafas distintas e a respectiva mudança no rótulo após o *ecodesign*.



Figura 3 – Área do rótulo:  $198 \text{ cm}^2$  após reformulação de *ecodesign* (esquerda) e a direita área do rótulo  $387,6 \text{ cm}^2$ , antes da reformulação da embalagem.

A Figura 4 permite a comparação de área entre diferentes rótulos para o mesmo volume de produto a ser consumido.

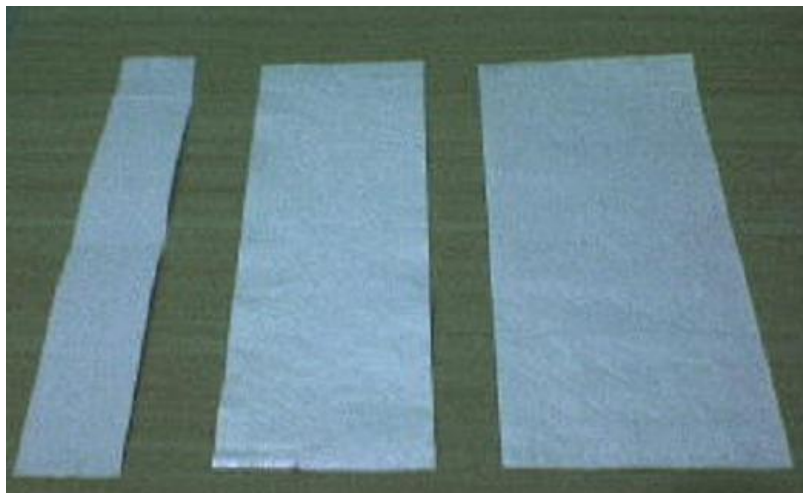


Figura 4 – Rótulos de garrafas PET de 2 L, empregadas em refrigerantes de diferentes marcas - áreas dos rótulos: esquerda:  $198 \text{ cm}^2$ ; centro:  $387,6 \text{ cm}^2$  e a direita:  $496 \text{ cm}^2$

## **Conclusões:**

A reformulação de *ecodesign* da garrafa PET de 2,0L (amostras E e F) representou uma redução de 4,4% no uso de termoplásticos, além de uma diminuição de 49% na área do rótulo e de 90,6% na área de aplicação de cola.

A utilização de rótulos sem adesivo e sem emendas é uma opção importante para reduzir a heterogeneidade na composição química das garrafas PET e facilitar ainda mais o seu processo de desmontagem. O anel do lacre também é um item da garrafa que traz dificuldades e aumenta o tempo de desmontagem, sendo portanto passível de revisão pelos *designers* de embalagens e que se reflete na análise paramétrica de modo significativo.

## **Referências Bibliográficas:**

- [1] Barbieri, J.C. “Gestão Ambiental Empresarial” (2004) 1ª. Ed. São Paulo: Ed. Saraiva.
- [2] Baxter, M. “Projeto de Produto” (2001) 2ª. Ed., São Paulo: Ed. Edgard Blucher.
- [3] Cordeiro, E. Lima F. Schreiner, L. (2005) “Design de Embalagens: Desenvolvimento de Embalagens para Produtos de Comunidades Auto – Sustentáveis”, T&C Amazônia, Ano III, n. 7.
- [4] Dias, S.L.F.G. Teodósio, A.S.S. (2006) “Reciclagem do PET: Desafios e Possibilidades”, XXVI ENEGEP, Fortaleza, ABEPRO.
- [5] Lima, R.M.S. (2003) “A Contribuição da Análise Ergonômica ao Projeto do Produto Voltado para a Reciclagem”, Revista Produção, v.13, n.2, 2003.
- [6] Manzini, E., Vezzoli, C. (2005) “O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis”: Os Requisitos Ambientais dos Produtos Industriais, São Paulo, EDUSP.
- [7] Raposo, A. Ribeiro K. (2007) “MobPET: Linha de Mobiliário Sustentável Aplicado ao Design de Interiores”, II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte de Educação Tecnológica, João Pessoa.
- [8] Rolim, A.M., Nascimento, L.F. (2000). “Oportunidades na Reciclagem de PET e Inovação: Estudo de Dois Casos” – XXI Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica, São Paulo.

