

USO DE SAD NO APOIO À DECISÃO NA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS E GESTÃO DE MATERIAIS

Rosangela S. Cardoso

PPGEP / Universidade Federal da Paraíba (UFPB)
João Pessoa – PB
rosangelacardoso@ct.ufpb.br

Lúcia Helena Xavier

CGEA / Fundação Joaquim Nabuco
Recife – PE
lucia.xavier@fundaj.gov.br

Carlos Francisco Simões Gomes*

IBMEC-RJ
cgomes@ibmecrj.br

Paulo José Adissi

PPGEP / Universidade Federal da Paraíba (UFPB)
João Pessoa – PB
adissi@ct.ufpb.br

* *Corresponding author* / autor para quem as correspondências devem ser encaminhadas

Recebido em 04/2008; aceito em 12/2008 após 1 revisão
Received April 2008; accepted December 2008 after one revision

Resumo

Este estudo tem como objetivo principal auxiliar dois processos decisórios por meio da análise de dois estudos de caso sobre gestão de resíduos e gestão de materiais. No primeiro estuda-se a destinação de resíduos plásticos pós-consumo e, no segundo, consequências da troca do material da embalagem utilizada. Para tanto, foram definidos critérios e fatores que permitem verificar a influência das possíveis alternativas praticadas em relação à necessidade de se alcançar e manter a sustentabilidade ambiental na gestão de resíduos e materiais. Para tanto, utilizou-se como ferramenta de pesquisa a Metodologia de Análise Multicritério THOR e o *software* que lhe dá suporte.

Palavras-chave: tomada de decisão; metodologia de análise multicritério; resíduo plástico; avaliação de impacto ambiental; sistema de apoio à decisão.

Abstract

This study has as main purpose to assist two decision processes by the analysis of two case studies about waste management and material management. In the first case was considered a pos-consume plastic waste disposal and in the second one the consequences of changing the package's material. Thus, were defined criteria and factors that allow verifying the influence of the possible practiced alternatives considering the necessity of reaching and maintaining the environmental sustainability in waste and material management. This paper used as research tool the THOR Multicriteria Analysis Methodology and the respective software that gives support.

Keywords: decision making; multicriteria analysis methodology; plastic waste; environmental impact assessment; support system.

1. Introdução

As indústrias fabricam numerosos produtos para satisfazer as necessidades humanas, mas, ao mesmo tempo, geram muitos subprodutos perigosos como emissões, efluentes e resíduos, que se dispersam no ambiente, provocam mudanças na qualidade ambiental e afetam a saúde de seres humanos, animais, plantas e ecossistemas. O gerenciamento ambiental envolve prevenir ou enfraquecer os efeitos das atividades humanas indesejáveis, e os gerentes de produção devem cada vez mais reconhecer que a melhoria do desempenho ambiental é o melhor para a sociedade. Neste contexto, todos os atores são responsáveis na hora de decidir a alternativa mais eficiente para promover a proteção ambiental.

Tomar uma decisão é fazer uma escolha entre diversas alternativas. A eficiência na tomada de decisão consiste na escolha da alternativa que, tanto quanto possível, ofereça os melhores resultados. As alternativas factíveis de atender o objetivo da decisão e, portanto, selecionadas para avaliação, serão comparadas em função de critérios e sob a influência de atributos. A distinção entre o Apoio Multicritério à Decisão (AMD) e as metodologias tradicionais de avaliação é o grau de incomparabilidade dos valores do decisor (tomador de decisão ou agente de decisão) nos modelos de avaliação. É preciso aceitar que a subjetividade está sempre presente nos processos de decisão. Nesse sentido, busca-se construir modelos que legitimem a elaboração de juízos de valores, juízos estes necessariamente subjetivos, onde os modelos são a estrutura de valores dos decisores associada a cada critério. O problema fundamental da decisão Multicritério é associar a relação de preferências (subjetivas) entre os vários critérios no processo de decisão.

A estruturação do modelo é fundamental em um processo de apoio à decisão, que tem um caráter misto entre a ciência e a arte. O caráter misto provém da ausência de métodos matemáticos para conduzir a estruturação. Isto implica que é impossível conceber um procedimento genérico de estruturação, cuja aplicação possa garantir a unidade e a validade do modelo concebido (Gomes *et al.*, 2006).

O trabalho de estruturação visa construir um modelo formalizado, capaz de ser aceito pelos decisores como um esquema de representação e organização dos elementos primários de avaliação, que servem de base à aprendizagem, à investigação, à comunicação e à discussão interativa com e entre os decisores.

Foram desenvolvidos dois estudos (4.1. Avaliação de Alternativas Para a Disposição de Resíduos Plásticos e 4.2. Avaliação de Alternativas Para a Troca de Embalagens) de casos distintos, envolvendo a avaliação de alternativas, critérios e fatores para a disposição de resíduos plásticos e para a troca de embalagens de transporte. Uma análise mais rápida e eficiente das alternativas, considerando e quantificando o não-determinismo do processo de atribuição de pesos e o reaplicando no processo de ordenação das alternativas, foi realizado a fim de fornecer subsídios que servirão de base para decisores ligados à área ambiental.

O problema descrito em 4.1 apresenta seis critérios de comparação, com “três decisores”, cada um com uma visão diferente da importância de cada critério (Tabela II), bem como a existência de um critério (Imagem da Empresa) com quantificação “qualitativa” onde a partir de uma escala verbal obtém uma quantificação. Este tipo de problema é área de pesquisa do AMD.

O problema descrito em 4.2 possui seis critérios de decisão, oriundos da combinação de 12 fatores (Tabela I do Anexo I), bem como a existência de quatro decisores com visão diferente da importância dos critérios. O uso do AMD foi utilizado, se não de forma pioneira,

uma vez que não foi encontrado na literatura aplicações do AMD em problemas semelhantes, mas como uma forma de ajuda de elicitar as preferências dos decisores, permitir uma transparência no processo de decisão, bem com criar nas(os) instituições (decisores) envolvidas (envolvidos) a cultura de utilização de metodologias de apoio de decisão na escolha da melhor alternativa.

2. Impactos Ambientais Provocados Pelas Embalagens Plásticas

No modelo de consumo vigente, destaca-se a exploração abusiva dos recursos naturais, o alto consumo energético e o aumento tanto no volume quanto na variedade de resíduos produzidos. Diante destes fatos, sugere-se o uso de tecnologias alternativas de produção, elaboração de mecanismos normativos, prolongamento da vida útil dos produtos, implantação de medidas para minimização dos impactos causados pelo descarte de resíduos, bem como, vertentes que considerem a preservação ambiental em função, basicamente, do potencial poluidor dos materiais descartados de forma indevida. Grande parte destes resíduos é destinada a aterros sem estrutura adequada, resultando, desta forma, na contaminação de solos e água nas proximidades destes aterros.

Especialmente na década de 90 foi atribuída uma grande importância às técnicas de valorização de resíduos (PLASTIVIDA/FIPMA, 2001). Tal perspectiva reforçou, por um lado, as alternativas de redução, reutilização e reciclagem (3 R); mas, por outro lado, retornou o debate sobre a viabilidade técnica, econômica, social e ambiental destas alternativas.

O cenário industrial atual é composto de diferentes materiais, classificados em cinco grandes grupos: metálicos, cerâmicos, poliméricos, compósitos e naturais. A utilização de diversos materiais ou de compósitos num novo produto, com o intuito de obter melhoria de propriedades físicas e mecânicas, vem se tornando bastante comum, o que dificulta a seleção e até mesmo o processo de reciclagem.

As embalagens e os descartáveis são cada vez mais sofisticados, com inúmeros atrativos para estimular o consumo e após seu uso, caso não seja dado o destino correto, podem causar impacto ao ambiente pelos motivos:

- Baixa degradabilidade,
- Capacidade de impermeabilizar,
- Curta vida útil e,
- Ocupa grandes volumes limitando o espaço para destinação.

De acordo com valores do ano de 2004 sobre a composição média do lixo doméstico no Brasil, sabe-se que este é composto de 52% de material orgânico, 28% de papel/papelão, 6% de plástico, 5% de metal, 3% de vidro e 6% de outros materiais (www.moderna.com.br).

Os plásticos, de um modo geral, são um pequeno, mas significativo componente do fluxo de geração de resíduos. De acordo com a ABRE (2005), o plástico e o papel/papelão são os materiais que apresentam os valores mais expressivos no mercado de embalagens.

Como a avaliação do impacto ambiental vem ganhando um interesse crescente, dos pontos de vista ambientais e econômicos, possibilitou que algumas metodologias fossem aplicadas para contribuir na avaliação qualitativa e/ou quantitativa. Decisores governamentais e organizacionais tornaram os assuntos ambientais um objetivo importante.

Uma hierarquização para as principais formas de destinação já foram sugeridas inicialmente para resíduos do setor automobilístico (Barbiere, 2004). Foi proposta a disposição em aterros, e esta seria uma das alternativas que exigiriam menos energia.

Não obstante, apesar da possibilidade de uma análise comparativa entre alternativas de destinação, existem algumas dificuldades em se ordenar as alternativas de destinação do lixo.

Os polímeros destinados à fabricação de embalagens possibilitaram a substituição de matérias-primas como: madeira, ossos, lã, bambu, marfim, casco de tartaruga, entre outras, cuja exploração poderia comprometer a manutenção de representantes de espécies animais e vegetais.

As embalagens evoluíram de uma pequena gama de recipientes rígidos e pesados feitos basicamente de produtos naturais para outros mais leves, podendo ser flexíveis, semirrígidos ou rígidos, confeccionados com menos material, produzidos com maior eficiência e utilizando materiais especializados. Comercialmente existem diversos tipos de plásticos que, em função de fatores estéticos, econômicos e funcionais determinam a seleção da embalagem para uma determinada aplicação (Michaeli, 1995).

Em função da sua pouca degradabilidade, os plásticos permanecem na natureza por períodos longos, causando a poluição visual e, eventualmente, química, do ambiente. Para reduzir o impacto dos plásticos no ambiente, o gerenciamento dos resíduos torna-se imperativo e, desta forma, a estratégia da reciclagem pode ser facilmente introduzida. Entretanto, devem-se considerar alternativas diferenciadas de destinação em função das diferentes propriedades dos materiais plásticos.

3. Metodologia e Implementação

3.1 Apoio Multicritério à Decisão (AMD)

No modelo para tomada de decisão estão compreendidos os seguintes componentes: critérios, pesos e as notas (classificação) que são dadas para cada alternativa, em cada critério. Pressupondo o conhecimento das preferências dos atores da decisão e a qualidade da avaliação, pode-se admitir que uma ação é tão boa, melhor ou pior que uma outra, ou seja, hierarquizar as alternativas.

O AMD permite a priorização de alternativas em uma situação de critérios conflitantes, buscando satisfazer as restrições com objetivos conflitantes (Buchanan & Gardiner, 2003), ou seja, uma solução de compromisso. Assim sendo, o AMD pode fornecer mecanismos para o apoio à negociação e/ou decisão em grupo. O uso do AMD consiste, segundo Matsatsinis & Samaras (2001), em:

- Estruturar o processo da decisão, identificando regras, critérios e pesos dos critérios;
- Representar as múltiplas visões dos atores da decisão;
- Agrupar preferências, atribuindo os valores do grupo.

Salienta-se que o AMD começa a busca da(s) alternativa(s) de solução do problema pelas alternativas não-dominadas (Marmol *et al.*, 2002), ou seja, alternativas que superam outras alternativas em todos os critérios, evidenciando a hierarquia de preferência das alternativas.

Matsatsinis & Samaras (2001) afirmam que os métodos do AMD são uma excelente ferramenta para redução dos conflitos interpessoais quando o objetivo é obter o consenso,

uma vez que busca a minimização de conflitos individuais. Um grande obstáculo a qualquer processo de decisão em grupo e mais ainda na negociação é que cada participante tem a sua percepção do problema alterada de acordo com os resultados possíveis da decisão ou negociação. A percepção das diferenças de visões do problema e/ou preferências individuais aparece quando se pretende criar um modelo que agregue as preferências do grupo, baseado nas preferências individuais.

Critérios

Critério é um eixo de comparação das alternativas, e é expresso de forma qualitativa ou quantitativa, considerando os pontos de vista, objetivos, aptidões ou entraves relativos ao contexto real, permitindo o julgamento das ações potenciais. A família de critérios deve considerar todos os atores considerados no processo decisório, ou seja: decisores, agentes, facilitadores e analistas (Gomes *et al.*, 2006) para continuar o apoio à decisão e deve conter um número suficientemente “pequeno” de critérios que permita, em uma análise intercritério, obter informação necessária para implementar um processo “de agregação” (Gomes *et al.*, 2006).

Os critérios devem seguir, basicamente, três axiomas, conforme apresentado a seguir (Gomes *et al.*, 2006):

Axioma da Exaustividade

Possuir todos os pontos de vista julgados importantes, permitindo a classificação das alternativas nos critérios. Se, $j \in F$, $g_j(b) = g_j(a)$, (onde j são os critérios do conjunto F que contém todos os critérios), então, qualquer que seja a ação c , temos: $c H b \rightarrow c H a$, $H \in \{I, P, Q, R, \sim, >, S\}$; $b H' c \rightarrow a H' c$, $H' \in \{I, P, Q, R, \sim, >, S\}$. Foi realizado um teste prático com o objetivo de verificar se F é exaustiva e verificou-se se os critérios escolhidos estão representando todos os atributos que deviam realmente ser considerados no problema. Para isso, formulou-se o questionamento: Podemos imaginar duas ações a e b , verificando $j \in F$, $g_j(b) = g_j(a)$ e ainda assim ser possível justificar a negação da indiferença $b I a$? – Caso a resposta ao teste fosse positiva, o axioma da exaustividade não estaria sendo respeitado pela família F de critérios.

Axioma da Coesão

Os critérios estão de acordo com o objetivo do estudo e representam de forma clara os juízos de valor. Sejam a e b ações potenciais ligadas por uma relação segundo a qual a é pelo menos tão boa quanto b ($a P b$, $a Q b$ ou $a I b$). Caso ocorra aumento na *performance* de a , segundo um critério g_k , permanecendo inalteradas as demais *performances* $g_i(a)$, $i \neq k$, então a ação a^* assim obtida é tal que sua relação com b se processa pelo menos no mesmo nível de intensidade anteriormente existente, ocorrendo ou não depreciação de alguma *performance* de b .

Podemos imaginar duas ações a e b , verificando $a I b$ diante das quais se justifica que, melhorando alguns desempenhos de a (os outros permanecendo inalterados) e/ou degradando alguns desempenhos de b (os outros permanecendo inalterados), chegamos a caracterizar duas ações a^* e/ou b^* , tais que a^* não pareça ser ao menos tão boa quanto b^* ? Caso a resposta ao teste fosse positiva, o axioma da coesão não estará sendo respeitado pela família F . Nessa situação, as definições dos critérios teriam que ser revistas.

Axioma da Não-Redundância

Um aspecto abordado por um critério não poderá aparecer em outro critério. Considerando um critério k de F e, retirando esse critério, a família $F \setminus \{k\}$ deduzida de F . Admita que os $n-1$ critérios de $F \setminus \{k\}$ sejam suficientes para prover a essa nova família o papel inicial de F . Dizemos então que k é um critério redundante, isto é, sua retirada define uma família $F \setminus \{k\}$ que satisfaz às duas exigências de exaustividade e coesão. Ou seja, k é fortemente dependente dos $n-1$ critérios que constituem $F \setminus \{k\}$. Existe um critério k cuja retirada define uma família que não passa nos testes de exaustividade e de coesão? Caso a resposta ao teste seja negativa, o axioma da não-redundância não estará sendo respeitado pela família F . Nessa situação, o critério k terá que ser excluído da análise.

Problemática do Apoio à Decisão (Gomes *et al.*, 2006)

No contexto do apoio à decisão, o resultado pretendido em determinado problema pode ser identificado entre quatro tipos de problemática de referência, descritas a seguir:

- a) *Problemática $P.\alpha$* – tem como objetivo esclarecer a decisão pela escolha de um subconjunto tão restrito quanto possível, tendo em vista a escolha final de uma única ação. Esse conjunto conterá as “melhores ações” ou as ações “satisfatórias”. O resultado pretendido é, portanto, uma escolha ou um procedimento de seleção;
- b) *Problemática $P.\beta$* – tem como objetivo esclarecer a decisão por uma triagem resultante da alocação de cada ação a uma categoria (ou classe). As diferentes categorias são definidas *a priori* com base em normas aplicáveis ao conjunto de ações. O resultado pretendido é, portanto, uma triagem ou um procedimento de classificação;
- c) *Problemática $P.\gamma$* – tem como objetivo esclarecer a decisão por um arranjo obtido pelo reagrupamento de todas ou parte (as mais satisfatórias) das ações em classes de equivalência. Essas classes são ordenadas de modo completo ou parcial, conforme as preferências. O resultado pretendido é, portanto, um arranjo ou um procedimento de ordenação;
- d) *Problemática $P.\delta$* – tem como objetivo esclarecer a decisão por uma descrição, em linguagem apropriada, das ações e de suas consequências. O resultado pretendido é, portanto, uma descrição ou um procedimento cognitivo.

Deve-se ressaltar que as problemáticas definidas anteriormente não são independentes umas das outras. Em particular, a ordenação das alternativas ($P.\gamma$) pode servir de base para resolver um problema $P.\alpha$ ou $P.\beta$. Na prática, muitos métodos multicritério, sobretudo aqueles desenvolvidos nos anos 70 e princípio dos anos 80, privilegiaram a problemática $P.\gamma$.

3.2 O Sistema de Apoio à Decisão (SAD) THOR

O SAD THOR é baseado em três algoritmos para usar simultaneamente, Teoria da Utilidade, Modelagem de Preferência e Teoria de Multi-atributo. O uso destas teorias permite que a atratividade de uma alternativa seja quantificada, pela criação de uma função agregação não-transitiva. Uso do termo SAD, deve-se ao fato do *Software* que implementou o THOR, apresentar um banco de modelos, pois possui três algoritmos para ordenação bem como usa o *Rough Set* como *datamining*; possui um banco de dados, denominado Firebird, e uma interface de comunicação construída na linguagem Delphi7.

O THOR permite:

- Uma análise mais rápida e eficiente das alternativas, considerando nesta análise o não-determinismo do processo de atribuição de pesos;
- Quantifica o não-determinismo e o reaplica no processo de ordenação das alternativas.

À luz do estado-da-arte no Apoio Multicritério à Decisão (AMD), o THOR fez as seguintes contribuições:

- Primeiro algoritmo híbrido que agrega simultaneamente conceitos da Teoria dos Conjuntos Aproximativos (TCA), Teoria dos Conjuntos Nebulosos, Teoria da Utilidade e Modelagem de Preferências;
- Ordena alternativas discretas em processos decisórios transitivos ou não;
- Primeiro algoritmo que faz a eliminação de critérios redundantes considerando simultaneamente se a informação é dúbia (uso da TCA) e se ocorre elevação da imprecisão do processo de decisão (uso da Teoria dos Conjuntos Nebulosos);
- Quantifica a imprecisão e a utiliza no processo de decisão AMD;
- Primeiro algoritmo que permite simultaneamente a entrada de dados de mais de um decisor, possibilitando que estes expressem seu(s) juízo(s) de valor(es) em escala de razões, intervalo ou ordinal.
 - A nova fórmula utilizada (para atribuição de pesos na escala ordinal) pelo THOR para atribuição de pesos em escala ordinal foi obtida após o estudo das três fórmulas existentes na literatura;
 - O decisor também pode executar o processo de decisão sem atribuir pesos aos critérios;
 - Elimina a necessidade, de alguns algoritmos que se baseiam na Modelagem de Preferências, de determinar um valor, normalmente arbitrário, para a concordância.

Este trabalho usa uma metodologia de análise de decisão, denominada THOR (Gomes, 1999) explorando as capacidades do software como uma ferramenta de apoio de decisão. Devido a uma capacidade limitada da mente humana para comparar simultaneamente vários aspectos de um problema, o THOR é utilizado como ferramenta para apoiar a comparação das alternativas, alternativas estas classificadas nos diferentes critérios. Baseado em uma comparação paritária, o princípio de julgamentos comparativos é aplicado para determinar a importância relativa dos critérios.

3.3 Aplicação do THOR

O Sistema permite a entrada de dados de mais de um decisor, simultaneamente, possibilitando que estes expressem seu(s) juízo(s) de valor(es) em escala de razões, escala de intervalos ou escala ordinal.

Algumas informações adicionais são necessárias para a aplicação da metodologia:

- i) estabelecimento de um peso para cada critério, representando a importância relativa entre eles;
 - Existe a possibilidade de trabalhar sem pesos, esta é utilizada quando os decisores são incapazes de atribuir pesos aos critérios.

- ii) estabelecimento de um limiar de preferência (p) e de indiferença (q) para cada critério; e
- iii) estabelecimento da discordância.

O limiar de indiferença é explicitado por uma função $q[g(a)]$, que pode ser constante em algumas situações, e representa um limite superior (q) para a diferença $g(b)-g(a)$, tal que, qualquer valor desta diferença inferior a ele, não é suficiente para garantir a preferência estrita de b sobre a , ou até mesmo a preferência fraca. O limiar de preferência, por sua vez, é representado por uma função $p[g(a)]$, que representa a diferença $g(b)-g(a)$, podendo ser constante em algumas situações, e representa um limite inferior (p), abaixo do qual não é suficiente para optar por uma preferência estrita de b sobre a (Roy & Vanderpooten, 1996).

Estabelecimento de uma discordância para cada critério. Segundo Gomes *et al.* 2006, a discordância consiste no fato de que não existem critérios em que a intensidade de preferência de b em relação a a ultrapasse um limite aceitável.

Quantificação da imprecisão para cada peso e para cada classificação das alternativas, uma vez que o julgamento de valor empregado nos métodos de apoio multicritério à decisão nem sempre pode ser expresso de maneira segura e precisa.

Ressalte-se que as relações de sobreclassificação em vez de só indicar as relações de dominância, possuem um quantitativo numérico que representam o “valor da alternativa”, através de uma função de valor aditiva. Esta aproximação permite representar a relação de dominância e a hierarquia dos valores das alternativas. Três situações são admitidas para que uma alternativa seja melhor do que a outra (Gomes, 1999):

$$S1: \sum_{j=1}^n (w_j | aP_j b) > \sum_{j=1}^n (w_j | aQ_j b + aI_j b + aR_j b + bQ_j a + bP_j a);$$

$$S2: \sum_{j=1}^n (w_j | aP_j b + aQ_j b) > \sum_{j=1}^n (w_j | aI_j b + aR_j b + bQ_j a + bP_j a);$$

$$S3: \sum_{j=1}^n (w_j | aP_j b + aQ_j b + aI_j b) > \sum_{j=1}^n (w_j | aR_j b + bQ_j a + bP_j a)$$

Onde R é a não comparabilidade e, w representa o peso do critério j ; e os critérios são $j = 1, 2, \dots, n$,

onde,

Limite de preferência (p): $aPb \leftrightarrow g(a)-g(b) > + p$

Limite de indiferença (q): $aIb \leftrightarrow -q \leq | g(a)-g(b) | \leq + q$

Situação de preferência fraca: $aQb \leftrightarrow q < | g(a)-g(b) | \leq p$

$g(.)$ ganho no critério.

No cenário S1 (uso do algoritmo S1), as alternativas só contam como pontos (tem sua atratividade pontuada) para situações em que ocorrem aPb . A alternativa a é comparada com todas as demais alternativas. Por exemplo, comparando alternativa a com alternativa b , verifica-se os critérios nos quais ocorre aPb , levando-se em consideração os limiares de

preferência, indiferença e a discordância. Verificado se satisfaz a condição imposta tem-se que a domina b , posteriormente soma-se os pesos dos critérios nos quais a condição foi atendida. Para uma alternativa c , repete-se o mesmo procedimento descrito anteriormente. A pontuação (ou atratividade) final da alternativa a será a soma desses valores obtidos.

Para o cenário S2, as alternativas contam como pontos para situações em que aPb e aQb . Já no cenário S3, as alternativas contam como pontos para situações em que aPb , aQb e aIb . Nota-se que os dois últimos cenários (S2 e S3) são menos rigorosas que o primeiro (S1), de forma que uma diferença menor permite classificar uma alternativa como melhor que outra.

A descrição do algoritmo THOR e do software que lhe dá suporte estão em Gomes (1999 e 2005) e Alencar *et al.* (2005). As descrições de aplicações do THOR estão em: Gomes *et al.* (2000, 2001, 2002a e 2008), Nunes *et al.* (2003), Xavier *et al.* (2004), Fellipo & Gomes (2005), Lira *et al.* (2006) e Gomes (2006). Estas referências mostram aplicações reais do THOR e sugerem aplicação do THOR em processos de ordenação.

4. Estudos de Caso

4.1 Avaliação de Alternativas para a Disposição de Resíduos Plásticos

O HDPE (polietileno de alta densidade), material comumente empregado na confecção das embalagens de agrotóxico e óleo lubrificante, é um tipo de plástico utilizado em quase todos os setores da economia, mas é justamente no setor de embalagens que vem se destacando sua utilização em função de sua ampla capacidade de adequação a diferentes tipos de uso. De acordo com dados de 2001, o HDPE representa 40% do total de resina produzida para consumo nacional (PLASTIVIDA/FIPMA, 2001). Considerando-se que existem vários tipos de resina, este percentual representa um valor significativo para a produção brasileira.

Dentre as aplicações deste tipo de resina, estima-se que as embalagens destinadas a produtos alimentícios correspondem a 39% da demanda da produção; seguido do segmento de embalagem industrial, com 28%; embalagens para higiene pessoal e perfumaria, com 24%; embalagem para higiene e limpeza, com 3%; e embalagens convencionais com 6% (Embanews Packnews, 2001).

O PVC (Policloreto de vinila), no mercado de embalagens, é utilizado em filmes rígidos, filmes flexíveis e sopro. O segmento de embalagens para alimento corresponde a 55% da produção da resina, seguida de embalagens para higiene e limpeza, com 27% e para higiene pessoal e perfumaria, com 18% (Embanews Packnews, 2001). De acordo com o Anuário Brasileiro do Plástico Moderno, de 2002, o consumo anual do PET em embalagens no Brasil corresponde a 84,6 %, enquanto 15,4 % a outros usos.

Em função de suas propriedades, o PET vem sendo utilizado, prioritariamente, na fabricação de garrafas para o acondicionamento de bebidas gasosas, filmes de poliéster para embalagens, além de fiação para o setor de vestuário. Mesmo representando apenas 3% do total de mercado de plásticos, ou seja, 10% do mercado de plásticos destinado ao setor de embalagens seu mercado é altamente especializado, sendo destinado basicamente ao setor de bebidas carbonatadas (Duchin & Lange, 1998).

Uma alternativa diferenciada para a destinação de embalagens plásticas pós-consumo consiste no seu aproveitamento como combustível (Miskolczi *et al.*, 2006). Neste caso,

pequenos reatores de pirólise seriam capazes de transformar resíduos de diferentes materiais plásticos em combustível líquido de hidrocarbonetos, que podem ser usados como alternativa à gasolina, ao querosene, ao óleo diesel ou ao óleo combustível. As únicas restrições, entretanto, seriam em relação a dois tipos de plástico: o PVC, que libera ácido clorídrico durante o processo e, por isso, provoca corrosão dos reatores e tubulações, e o PET, por não se dissolver totalmente.

Considerando-se que o ponto crítico para as legislações locais é a distribuição de responsabilidades pela redução dos resíduos de embalagens plásticas, pode-se verificar na cadeia produtiva desse setor quatro elementos: o produtor da matéria prima; o processador; o envasador e o atravessador.

Geralmente, devido à maior acessibilidade dos atravessadores ao consumidor final, pode lhes ser atribuído um maior percentual de responsabilidade para que os objetivos impostos pela legislação sejam atingidos. Da mesma forma, os envasadores também apresentam grande potencial de responsabilidade por estarem também próximos aos consumidores e ditarem o *design* e especificações das embalagens.

A escolha do plástico como o material a ser utilizado na análise deste artigo, utilizando a metodologia multicritério, foi feita com base em um estudo prévio das características de diferentes tipos de resinas plásticas, que, em função de suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, exigem estudos específicos para cada aplicação.

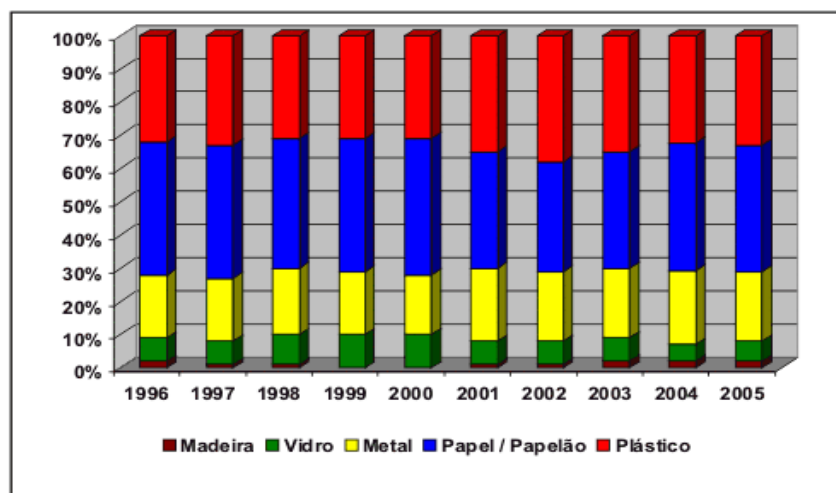


Gráfico 1 – Participação dos materiais no mercado de embalagens (1996-2005).
Fonte: ABRE (2005).

Na década de 90, foi dada grande importância às técnicas para valorização de resíduos (PLASTIVIDA/FIPMA, 2001), reforçando o debate sobre a sua viabilidade técnica, econômica, social e ambiental (Pun *et al.*, 2003). Reuso e reciclagem foram consideradas alternativas para plásticos pós-consumidos, como sendo o meio mais efetivo para resolver o principal problema de destinação de resíduos em grandes centros urbanos (Whelan *et al.*, 1998). Reuso permite a reincorporação de produto final ao mesmo ciclo ou a outro ciclo,

sem processo adicional do material, mas a reciclagem acrescenta um processo químico ou mecânico.

Existe também uma grande preocupação em relação à efetividade das diferentes alternativas de reciclagem. Reciclagem mecânica (secundária), reciclagem química (terciária) e reciclagem energética (quaternária) são alternativas que têm suas vantagens e limitações, baseadas em aspectos como características de resíduo, capacidade de processamento, valor da logística reversa e qualidade de produto final.

Incineração, por si só, não é apropriada para resíduos plásticos: o valor de aquecimento da resina de plástico (semelhante à do carvão e do óleo de combustível) pode ser usado para produzir energia.

4.1.1 Alternativas e Critérios

Neste estudo, a avaliação de impacto ambiental foi feita de acordo com uma pesquisa sobre as principais alternativas para a disposição de resíduos plásticos e considerando a metodologia dos 3 R onde as seguintes alternativas foram definidas assim:

- (a) Incineração,
- (b) Aterro,
- (c) Reciclagem Mecânica,
- (d) Reciclagem Térmica,
- (e) Reciclagem Química e
- (f) Reuso.

E, para cada uma destas alternativas, foi considerado um grupo de critérios:

- (i) Investimentos,
- (ii) Custos Operacionais,
- (iii) Custos de Tratamento/Disposição,
- (iv) Emissões de CO₂,
- (v) Imagem da Empresa e
- (vi) Benefícios.

Todos os critérios, com exceção de Benefícios e Imagem da Empresa, receberam valores negativos com o propósito de expressar o impacto negativo destes valores no desempenho ambiental causado por uma certa alternativa (neste caso o valor desejado é o mais próximo de zero, é definido como critério monotônico de custo, onde busca-se o menor valor).

O objetivo central é buscar uma alternativa (*Problemática P.α*) “não dominada” para destinação do material plástico. Seis alternativas de destinação foram consideradas na avaliação. Os valores listados na Tabela I se referem a 1 kg de plástico para cada critério, como apresentado a seguir:

Tabela I – Critérios e Alternativas.

	Critérios ⁸					
	Investimentos (Euros/kg.dia)	Custos Operacionais ¹ (Euros/kg)	Custos de Disposição/ Tratamento ¹ (Euros/kg)	Emissões de CO ₂ ¹ (kg/kg)	Imagem da Empresa	Benefícios ¹ (Euros/kg)
P	4	0,02	0	0,02	0	0
Q	2	0,01	0	0,01	0	0
Veto	300	0,4	0,2	3,2	10	0,3
Alternativas						
Reuso (reutilização)	- 6,1	- 0,188	- 0,003	- 0,0621	11	+ 0,244
Aterro	- 4.931 ²	- 0,244	0	- 0,0145 ³	3	0
Reciclagem Térmica (energética)	- 506 ⁴	- 0,203	- 0,005	- 3,116	7	+ 0,019
Reciclagem Química	- 965 ⁵	- 0,338	- 0,003	- 0,449 ¹	5	+ 0,344
Reciclagem Mecânica	- 12 ⁶	- 0,45	- 0,008	- 0,069	9	+ 0,38
Incineração	- 460 ³	- 0,182 ⁷	- 0,004	- 2,833	1	+ 0,244

¹ Hur *et al.*, 2003.² AMDE, 2002 e Silva, 2002.³ Oliveira & Rosa, 2003.⁴ Essential Action, 2008.⁵ Huntsman Polyurethanes, 2000.⁶ Rolim, 2008.⁷ GLU – Great Lakes United, 2008.⁸ Taxa de câmbio: http://www.portalbrasil.net/indices_Euro_dolar.htm Acessado em outubro de 2008.

Observação: os valores encontrados/informados considerados discrepantes foram penalizados atribuindo este grau de incerteza. O THOR ordena as alternativas considerando a atratividade, como foi descrito no item **3.3 – Aplicação do THOR**, entretanto penalizando esta atratividade “proporcionalmente” ao grau de incerteza.

Investimentos (Euros/kg.dia) – Resultam basicamente da soma dos custos de aquisição e montagem dos equipamentos e os custos da construção da infraestrutura necessária para o funcionamento.

No caso da alternativa Reutilização, o investimento foi considerado 50% menor que o valor encontrado para a Reciclagem Mecânica, por apresentar cerca de metade das necessidades de processo (Coleta+Transporte+Armazenagem+Lavagem). Este pequeno valor de investimento gerou dúvidas quanto à credibilidade desta informação. Com base nesta aproximação foi

adotado um grau de incerteza de 0,8 (a quantificação da incerteza de cada informação é um dos parâmetros necessários ao uso do THOR).

Observação: o THOR existe como dado de entrada na ordenação que o decisor informa qual é o grau de certeza da informação. Este grau de incerteza é informado para o peso atribuído a cada critério, bem como para a classificação da alternativa em cada critério. O THOR quantifica a incerteza de cada alternativa usando o conceito de *Hamming Distance*. Uma alternativa que tenha incerteza 1 significa certeza dos dados (a informação de incerteza varia de 0 a 1, onde 0 é incerteza total e 1 certeza absoluta; utiliza-se o conceito de função de pertinência da Teoria dos Conjuntos Nebulosos).

Foi considerado que o investimento para um Aterro plano de 30 ha é de € 20 milhões, estimando 15 anos de operação para servir uma população de 160 mil habitantes. É calculado, então, que haverá a disposição de cerca de $0,6 \text{ kg/dia} \times 160.000 = 96.000 \text{ kg/dia}$ de lixo total e que o valor do aterro ao dia é de €20 milhões / 5.475 dias (15 anos) que é igual a aproximadamente 3.653 Euros/dia.

Custos operacionais (Euros/kg) – São provenientes da soma dos custos variáveis com os custos fixos envolvidos nos processos de produção. Foram considerados os itens: salários, manutenção de máquinas e veículos, transporte (coleta e transporte), energia (eletricidade e combustível), depreciação de máquinas e veículos e outros.

Considerou-se que o valor para a Reutilização seria cerca de 10% menor que os encontrados para a Reciclagem Mecânica, que é o menor valor, adotando-se o grau de incerteza como 0,8. Para a Reciclagem energética, ao contrário, adotou-se como sendo cerca de 10% maior que o valor da Incineração, devido apresentar mais um processo, mas adotando-se também o grau de incerteza como 0,8.

Custos para disposição/tratamento (Euros/kg) – Custos envolvidos para a disposição dos resíduos, originados pelo novo processo, em outro local (um aterro sanitário ou uma outra central de reciclagem ou incineração).

Considerou-se que o valor para a Reutilização seria cerca de 10% menor que os encontrados para a Reciclagem Mecânica, que é o menor valor, adotando-se o grau de incerteza como 0,8. Para a Reciclagem energética, ao contrário, adotou-se como sendo cerca de 10% maior que o valor da Incineração, devido apresentar mais um processo, mas adotando-se também o grau de incerteza como 0,8.

Emissões de CO₂ (kg/kg) – Foi considerada a quantidade total de CO₂ emitida pelo processo de produção e durante o transporte.

Considerou-se que o valor para a Reutilização seria cerca de 10% menor que os encontrados para a Reciclagem Mecânica, que é o menor valor, adotando-se o grau de incerteza como 0,8. (transporte). Para a Reciclagem energética, ao contrário dos anteriores, adotou-se como sendo cerca de 10% maior que o valor da Incineração, devido apresentar mais um processo, mas adotando-se também o grau de incerteza como 0,8.

Benefícios (Euros/kg) – Receita obtida com a venda do produto do processamento, que são:

- Aterro – não há;
- Reutilização – não utilização do aterro (benefício indireto);
- Reciclagem mecânica – pellet;

- Reciclagem térmica – vapor;
- Reciclagem química – óleo;
- Incineração – não utilização do aterro (benefício indireto).

Imagem – Resulta de uma avaliação qualitativa, onde foi considerada uma escala de intervalos de 1 a 11 (contendo seis pontos cardinais), para demonstrar a visão do ator de decisão em relação ao produto, considerando o reaproveitamento do resíduo e o baixo consumo de energia como boa imagem para a classificação da alternativa utilizada para o descarte final.

O escalonamento utilizado para a avaliação qualitativa das alternativas foi:

- (1) alternativas que eliminam os resíduos ou não permitem o seu reaproveitamento com alto consumo energético.
- (3) alternativas que eliminam os resíduos ou não permitem o seu reaproveitamento com baixo consumo de energia.
- (5) alternativas que permitem o reaproveitamento do resíduo na produção de outro produto com alto consumo de energia.
- (7) alternativas que permitem o reaproveitamento do resíduo na produção de outro produto com baixo consumo de energia.
- (9) alternativas que permitem o reaproveitamento do resíduo para produzir o mesmo produto com alto consumo de energia.
- (11) alternativas que permitem o reaproveitamento do resíduo para produzir o mesmo produto com baixo consumo de energia.

4.1.2 Análise dos decisores

Além dos dados apresentados na Tabela I, também foram considerados os diferentes pontos de vista dos decisores. Como toda decisão considera a subjetividade dos decisores, a ordenação está baseada na experiência do decisor e no conhecimento do problema. Então, quatro classes de decisores foram consideradas:

- **Autoridades/ Governo** – Têm a estratégia de suas decisões baseadas principalmente na legislação e estudos orientados, neste caso, ao gerenciamento de resíduos, produção de energia, saúde pública, áreas de proteção, entre outros, visando sempre os benefícios sociais e ambientais, não se preocupando inicialmente com custos. Representam ainda, através da elaboração de normas e leis sobre questões ambientais, um agente de grande impacto para as atividades industriais.
- **Empresário** – Apresentam sempre como estratégia central o processo produtivo, introduzindo os conceitos de estratégia e de negócios. Recentemente, a introdução da variável ambiental tem representado uma forma de acréscimo nos custos operacionais e logísticos com vistas a legislação ambiental.
- **Indivíduo** – Têm suas opiniões fundamentadas em conceitos subjetivos e, prioritariamente, ecológicos, de acordo com o seu estilo de vida, enquanto cidadão e consumidor.
- **Visão Integrada** – Esta classe mostra uma equalização (negociação/decisão em grupo) das considerações de cada um dos decisores.

4.1.3 Resultados

Apesar da dificuldade na obtenção de dados confiáveis disponíveis sobre assuntos ambientais, muitos trabalhos foram desenvolvidos sobre alternativas de destinação de materiais pós-consumidos principalmente para aqueles materiais que são capazes de serem recuperados tais como papel, plástico, vidro e metal. Além disso, foi observado que existem muitos tipos diferentes de plásticos com propriedades mecânicas e químicas específicas que geralmente são consideradas e agregadas por pesquisadores como se estes fossem do mesmo tipo sem considerar a possibilidade de acontecer bias nos resultados. Por esta razão, foi decidido que os dados utilizados neste estudo seriam referentes somente ao HDPE.

Depois que um modelo fosse construído e julgamentos fossem completamente feitos, o resultado de THOR se apresenta como uma ordenação gerando a atratividade de uma alternativa, de acordo com o modelo. Os resultados encontrados no Sistema de Apoio à Decisão THOR, de acordo com simulação do ponto de vista de cada decisor, são apresentados na Tabela II.

Tabela II – Ordenação de acordo com as preferências dos decisores.

ALTERNATIVAS	Ordenação S1			
	Indivíduo	Governo	Empresário	Visão Integrada
Reutilização	3,74	3,4	3,63	3,62
Reciclagem Mecânica	3,25	3,51	2,24	2,80
Reciclagem Química	1,99	1,84	1,65	1,83
Reciclagem Térmica	1,19	1,08	1,03	1,10
Incineração	0,66	1,37	1,82	1,25
Aterro	0,59	0	0	0
ALTERNATIVAS	Ordenação S2			
	Indivíduo	Governo	Empresário	Visão Integrada
Reutilização	3,80	3,50	3,80	3,70
Reciclagem Mecânica	3,25	3,46	2,25	2,80
Reciclagem Química	1,66	1,56	1,51	1,57
Reciclagem Térmica	1,21	1,12	1,26	1,18
Incineração	1,70	1,92	2,06	1,86
Aterro	0,5	0	0	0
ALTERNATIVAS	Ordenação S3			
	Indivíduo	Governo	Empresário	Visão Integrada
Reutilização	4,24	4,05	4,19	4,15
Reciclagem Mecânica	3,3	3,59	2,49	2,9
Reciclagem Química	1,67	1,58	1,52	1,58
Reciclagem Térmica	1,22	1,13	1,27	1,19
Incineração	1,70	1,92	2,06	1,86
Aterro	0,5	0	0	0

Os Gráficos 2, 3 e 4 reproduzem os dados da Tabela II. Os gráficos e a Tabela II permitem uma melhor visualização do resultado final.

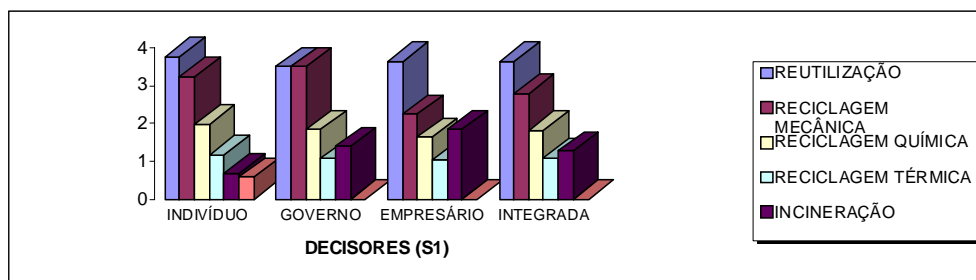


Gráfico 2 – Ordenação S1 de acordo com o decisor.

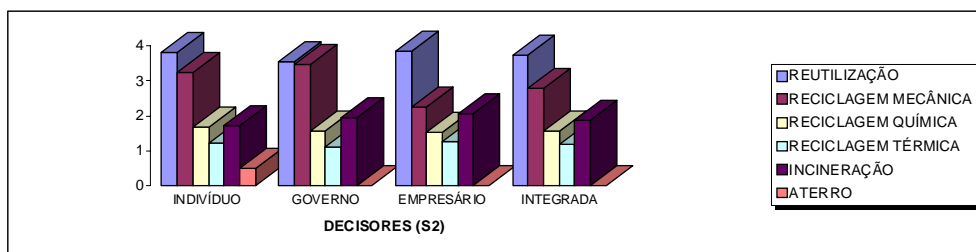


Gráfico 3 – Ordenação S2 de acordo com o decisor.

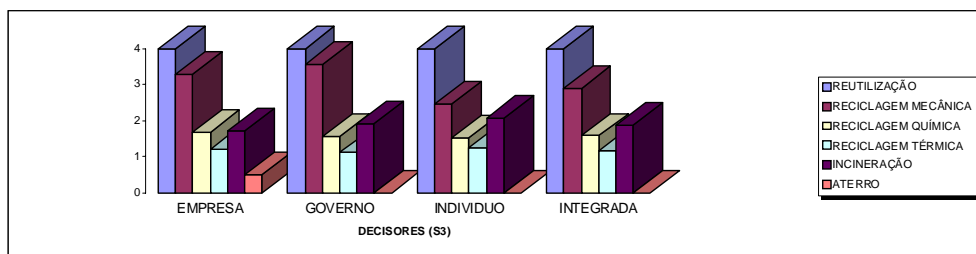


Gráfico 4 – Ordenação S3 de acordo com o decisor.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela II, existem diferenças de atratividade das alternativas para os diferentes decisores. Isto é esperado devido aos diferentes enfoques, conhecimento e nível de conformidade ambiental dos atores envolvidos no processo decisório.

Considerando todas as ordenações, e decisores, existe uma preferência pela Reutilização, seguida pela Reciclagem Mecânica; este grupo de alternativa domina as demais. Verifica-se a dominância da alternativa Reutilização pela maior pontuação que esta obteve, quando comparada com as demais (Tabela II). Existe um segundo grupo dominado por este primeiro que é composto pelas alternativas: Reciclagem Química, Reciclagem Térmica e Incineração.

A alternativa Aterro é dominada por todas as demais alternativas. As alternativas de Reutilização e Reciclagem Mecânica foram as que melhor atenderam aos critérios preestabelecidos.

4.2 Avaliação de Alternativas para a Troca de Embalagens

Imunobiológicos é a definição mais ampla, dada a diferentes tipos de soros e vacinas de origem biológica cuja função é prevenção e tratamento de doenças. Em função de suas características, os imunobiológicos têm regras específicas para produção, armazenamento e transporte. Aspectos como especificações do processo produtivo, observância das boas práticas de fabricação, entre outros inerentes ao processo produtivo de imunobiológicos, são observados como rotina.

O uso tradicional do papelão tem se mantido inquestionável em função de suas propriedades que têm atendido a demanda de diversos produtos. Entretanto, alguns pontos de fragilidade têm sido observados em função de especificidades das embalagens utilizadas ao longo da cadeia produtiva de imunobiológicos, dentre os quais se destacam: geração de material particulado durante o processo de embalagem e a interferência na temperatura de armazenagem e transporte.

Como proposta foi realizado um estudo para avaliação da possibilidade de troca desta embalagem de transporte, atualmente de papelão, por outro material que minimizasse os inconvenientes causados por esta, mantendo suas propriedades, sem acarretar novos problemas.

Inicialmente procedeu-se à escolha do material mais adequado ao uso em questão. Foram elencados os diversos requisitos e propriedades necessários a este tipo de embalagem e, diante da diversidade de possibilidades, foi escolhido o Poli(cloreto de vinila) – PVC como o mais adequado, pela sua capacidade de formulação que permite atendimento a diferentes tipos de uso.

Neste caso específico foram desenvolvidas duas novas formulações de PVC, chamadas de PVC1 e PVC2, nas quais foram realizados testes para verificar a manutenção das propriedades requeridas tanto nos filmes de PVC como também da embalagem em si, segundo as Normas ABNT e ASTM.

Mesmo de posse das informações técnicas necessárias para a decisão sobre o material mais adequado ao uso pretendido, os decisores ainda sentiram dificuldade em optar por algum dos materiais previamente definidos. Assim, optou-se por utilizar o Sistema de Apoio à Decisão (SAD) THOR como auxílio à ordenação de alternativas relacionadas. Assim, como critérios iniciais para opção pelas embalagens orientaram-se os decisores (especialistas relacionados à cadeia produtiva de imunobiológicos) acerca dos princípios de sustentabilidade ambiental, social e econômica como pressuposto para o processo decisório.

Desta forma, a partir da consideração dos especialistas, e utilizando a ferramenta SAD THOR, esperava-se obter uma avaliação mais sensível das características de cada embalagem, reduzir incertezas e ainda possibilitar uma escolha imparcial considerando a opinião de especialistas.

As vacinas, por serem imunobiológicos que contêm micro-organismos vivos ou atenuados, são classificadas como produtos biológicos e devem ser transportadas em embalagens

específicas, de modo que cheguem ao destino em boas condições, bem como não apresentem risco para pessoas e animais ao longo da cadeia de suprimentos (Zaffran, 1996; Lundbeck *et al.*, 1978; Lugosi & Battersby, 1990). Neste contexto, destaca-se a importância da adequação da especificação e do uso de embalagens como barreira de contaminação dos imunobiológicos, ou a partir destes.

A tecnologia de embalagens, por sua vez, compreende o desenvolvimento, estudo e adequação de produtos e processo e, por isso, possui uma metodologia altamente complexa e exige um significativo grau de conhecimento, prática e multidisciplinar.

O desenvolvimento de embalagens para o acondicionamento e transporte de diferentes tipos de produtos reflete a importância da compatibilização entre as características do produto a ser transportado e as propriedades do material da embalagem. As pesquisas sobre as embalagens finais (aquelas destinadas ao acondicionamento e transporte de produtos), ainda são bastante insipientes. Entretanto, trabalhos recentes, motivados pelo surgimento da temática Logística reversa (Adenso-Díaz *et al.*, 2004; Barbieri, 2004), têm evidenciado a importância do gerenciamento ambiental da cadeia produtiva, com o propósito de minimizar possíveis impactos decorrentes da destinação indevida de materiais pós-consumo (Adenso-Díaz *et al.*, 2003).

O transporte de produtos que necessitam de resfriamento, como os imunobiológicos, utilizam embalagens de papelão que apresentam alguns pontos de fragilidade, dentre os quais se podem citar (Valery, 2003; BPF, 1999):

- Espessura usual das paredes que dificultam a troca de calor com o ambiente resfriado como também aumenta o volume total das embalagens empilhadas nos *pallets* durante o armazenamento;
- Não permitem a visualização do conteúdo, por isso, necessitam de identificação externa. Sendo que a identificação deve ser, preferencialmente colorida para facilitar a diferenciação, especialmente quando dentro da câmara fria (o que acarreta um aumento no custo);
- Dificuldade de verificação de eventuais faltas de produtos na embalagem, o que vem sendo feito através de uma etapa adicional de verificação do peso comparado ao de uma embalagem cheia;
- Liberação de poeira durante o manuseio e montagem prejudicando a manutenção das condições de esterilidade em ambientes que manuseiam imunobiológicos estéreis;
- Aumento de peso da embalagem quando refrigerada devido à sua capacidade de absorção de umidade.

A compatibilização de ganhos financeiros com o atendimento à qualidade necessária ao produto transportado, mantendo os padrões necessários de qualidade ambiental, foi o principal objetivo da proposta de avaliação da substituição da embalagem de papelão por outra de plástico.

A utilização de materiais reutilizáveis, recicláveis ou de longa duração, ampliando o seu ciclo de vida, transformação no sistema de distribuição e a criação de programas de conscientização são as bases para o desenvolvimento de embalagens que permitem uma destinação correta ao final de sua vida útil, através do gerenciamento e redução dos impactos ambientais (Queiroz, 2002).

A proposta de substituição de embalagem motiva-se pela busca de um substituto aos inconvenientes provocados pelo uso de papelão em embalagens de transporte das vacinas que necessitam de resfriamento como descrito anteriormente.

A partir deste diagnóstico, foi realizado um estudo com base na análise do ciclo de vida e considerando os diversos tipos de plásticos e compósitos, com base nas características e propriedades individuais para a escolha do material adequado e utilizando a avaliação de magnitude e significância do impacto ambiental ocasionado e da qualidade do produto no destino. Como resultado, definiu-se o PVC como o material mais adequado neste caso, sendo desenvolvidas duas formulações para atender às necessidades específicas ao uso deste tipo de embalagem. Em seguida, foram realizados diversos testes para avaliar as propriedades mecânicas relacionadas a embalagens verificando-se que o material definido estava apropriado ao seu emprego. Assim, para a avaliação do desempenho com o SAD THOR, empregaram-se como alternativas do presente estudo, o papelão, PVC1 e PVC2, considerando-se os testes realizados.

Esta substituição de materiais traz como principais benefícios: o uso de material mais leve, minimizando o impacto ambiental no transporte; o retorno da embalagem, promovendo um melhor uso e garantindo a adequada disposição ao fim da vida útil; melhoria da qualidade em relação a custo e imagem do produto.

O SAD THOR, para avaliar as diferentes dimensões da qualidade, além das alternativas, precisa considerar critérios e fatores de decisão. Sendo que os critérios representam condições necessárias para o atendimento das especificações do produto em relação ao consumidor e ao mercado. Entende-se por fatores de decisão como sendo características especificamente vinculadas à eficácia do produto no atendimento de padrões do processo produtivo, normas de segurança e de gestão ambiental.

4.2.1 Critérios e Fatores

Abaixo, encontram-se as definições dos critérios e dos fatores adotadas no estudo:

Critérios

- **Confiabilidade** – atendimento aos padrões de eficácia ou funcionalidade estabelecidos ou esperados para a vida útil do produto.
- **Conformidade** – pode ser definida como o grau de atendimento do produto a padrões ou especificações de projeto e operação previamente definidos (ISO/IEC, 1999; BPF, 1999).
- **Durabilidade** – expressa a vida útil do produto, sendo este um dos quesitos que aumentam o seu grau de confiabilidade.
- **Estética** – envolve os aspectos estéticos do produto, percebidos por clientes e pelo mercado, aliado às suas propriedades funcionais.
- **Desempenho** – verificação de alterações nas características funcionais do produto no decorrer do tempo, como a perda de eficiência em função de desgaste.
- **Qualidade percebida** – abordagem baseada na percepção do usuário sobre as características do produto final. Engloba os demais critérios e serve como base para adequação às necessidades do usuário final, conforme requisitos da norma ISO 9001:2000 (ABNT, 2000).

Fatores

Os fatores de decisão definidos para este estudo estão diretamente relacionados às especificidades pretendidas para o uso das embalagens no transporte e acondicionamento de imunobiológicos, conforme apresentado no estudo de caso (Tabela I do Anexo I).

- Dimensão – definida a partir dos volumes internos (embalagens cartonadas) a serem contidos na embalagem em questão, bem como a partir do espaço externo do *container* no qual as embalagens são transportadas. As dimensões verificadas para o papelão são 490 x 230 x 335 mm e para o PVC 480 x 230 x 310 mm.
- Peso – está diretamente vinculado ao tipo de material e representa um dos fatores que impacta diretamente nos custos de transporte (consumo de combustível) e geração de emissões veiculares. Para o papelão, a embalagem pesa em torno de 380 g, e as embalagens em PVC cerca de 120 g.
- Estocagem – foram considerados o peso e o volume ocupados no almoxarifado pelo conjunto de embalagens (com 25 unidades cada conjunto), bem como a liberação de material particulado nos ambientes estéreis a partir do manuseio destas. Verificou-se que o conjunto de embalagens de papelão apresentou as seguintes dimensões 59 x 73 x 37 cm, pesando 16 kg, enquanto o conjunto de embalagens plásticas apresentou dimensões 48 x 33 x 7 cm e cerca de 3 kg.
- Transparência – especificidade que permite a identificação das embalagens cartonadas contidas em seu interior ou do não preenchimento da embalagem de transporte, que atualmente são verificadas apenas pela diferença de peso.
- Identificação – existência de identificação do conteúdo através de etiquetas, impressão nas embalagens ou códigos de barra, que impedem a ocorrência de trocas.
- Selabilidade – propriedade física do material da embalagem para evitar que a umidade penetre e ocorra rompimento ou embaçamento da mesma prejudicando o transporte ou integridade do produto.
- Segurança – permitir o uso de lacres para conferir a segurança e a proteção necessárias ao transporte e acondicionamento.
- Manipulação – mecanismo eficiente de abertura e fechamento, viabilizando as etapas de enchimento e esvaziamento das embalagens. Além disso, deverá permitir o empilhamento de forma segura, de forma que não escorreguem, pois a umidade externa da embalagem pode formar uma camada muito lisa que torna a embalagem escorregadia.
- Ambiente estéril – a sala de fabricação deve ser estéril, sem a presença de contaminação nem material particulado, com vistas a evitar o comprometimento da qualidade do material produzido e embalado.
- Resistência ao rasgo – deverá apresentar resistência ao rasgo em função do manuseio a que será submetida, bem como manter as características funcionais a fim de possibilitar o reuso da embalagem.
- Resistência mecânica – necessária para proteger seu conteúdo, de aproximadamente 9 kg, durante o manuseio; resistindo ao empilhamento de até 5 caixas.
- Resistência à variação de temperatura – os diferentes produtos caracterizados como imunobiológicos devem seguir requisitos específicos de transporte e armazenamento. As temperaturas mais críticas são as de -20°C e 40°C . Entretanto, variações de temperatura devem ser consideradas e para tanto, torna-se necessária a escolha de um material que

seja capaz de suportar os picos de temperaturas de acondicionamento e suas mudanças sem alteração das características. Além disso, deverá ter facilidade para trocar calor, a fim de manter a vacina resfriada durante todo o transporte.

- Custo – valor de compra do material. O custo da nova embalagem (R\$2,85/unidade) está 50% maior que o da atual embalagem de papelão triplex (R\$2,00/unidade). Entretanto, a introdução da variável reuso, com o novo material, compensa o custo majorado, baseado em estudo paralelo realizado que estimou esta possibilidade de reuso em mais de 60% do total comercializado, além do favorecimento da logística reversa pelo menor peso da embalagem, facilidade de dobramento e localização do distribuidor. Por estas razões este fator não está sendo considerado neste estudo. A opção por um material retornável e reutilizável deverá ser priorizada como forma de retorno do investimento e como prática sustentável de gerência de materiais.

Para o uso SAD THOR, foram utilizadas as alternativas denominadas 1, 2 e 3, para o **papelão, PVC1 e PVC2** respectivamente, os critérios, baseado na agregação dos fatores, e para tal utilizou-se uma escala de mensuração, isto é, 0 – não atende; 1 – atende parcialmente; 2 – atende totalmente, e os fatores, com base nos critérios utilizando a mesma escala relativa de medição, as informações proporcionam uma nova forma de análise e observação.

4.2.2 Análise dos decisores

O Instituto de Tecnologia em Imunobiológicos – Bio-Manguinhos (FIOCRUZ) foi um os atores de decisão na obtenção da visão do responsável pela produção das vacinas; o setor responsável pela linha de produção, o CAPA, foi o ator de decisão para obter as principais considerações relativas ao processo de fabricação e embalagem dos imunobiológicos; a CENADI (Central Nacional de Armazenamento e Distribuição de Imunobiológicos), como distribuidor das vacinas para todo o Brasil (localizado bem próximo ao produtor no Rio de Janeiro) foi outro ator, e diversos postos de vacinação (localizados em diferentes pontos do país), consultados através de questionários foram outros atores e, ainda, uma visão integrada, gerada pela agregação dos valores atribuídos pelos decisores, conforme apresentado a seguir:

- Bio-Manguinhos – Tem uma visão baseada principalmente na legislação, visando os benefícios sociais e ambientais, não se preocupando inicialmente com custos.
- Linha de produção / CAPA – Tem a estratégia de suas decisões baseadas principalmente na facilidade produtiva, introduzindo os conceitos de esterilidade, muito importante nesta área de imunobiológicos.
- Distribuidor / CENADI – Apresenta como estratégia central a introdução de conceitos de variável ambiental que traz custos operacionais e logísticos com vistas a cumprir a legislação ambiental, facilidade de manuseio e espaço para estocagem.
- Postos de vacinação – Têm suas opiniões fundamentadas em conceitos objetivos, isto é, se o produto chega sem quebras e se foi transportado à temperatura de refrigeração constante.
- Visão integrada – Esta classe mostra uma equalização (negociação/decisão em grupo) das considerações de cada um dos decisores.

A atribuição de pesos considerou neste caso a importância relativa de cada critério, na visão de cada um dos decisores. Foi utilizado o módulo do THOR para elicitação de pesos, para auxiliar os decisores a atribuir a importância relativa a cada critério.

Observação: o THOR pode ser utilizado sem atribuir pesos aos critérios, onde todos os critérios têm a mesma importância e/ou atribuindo-se pesos aos critérios. A atribuição de pesos pode ser utilizando uma escala de intervalos ou uma escala de razões. O THOR tem um módulo que auxilia o(s) decisor(es) a elicitar sua(s) preferência(s), bastando inicialmente escolher qual escala prefere para elicitar a preferência.

Tabela III – Atribuição de importância aos critérios de acordo com os pesos atribuídos pelos decisores.

Decisor	Critérios					
	Durabilidade	Conformidade	Desempenho	Confiabilidade	Estética	Qualidade
Bio-Manguinhos	3	1	4	2	6	5
CAPA	4	3	1	2	6	5
CENADI	1	6	2	5	4	3
Postos Vacinação	3	6	5	2	4	1
Visão Integrada	2,75	4	3	2,75	5	3,5

4.2.3 Resultados

Para compor estes critérios estabelecidos foram relacionados os diversos fatores necessários à sua análise, conforme mostra a Tabela I do Anexo I, sendo que para a aplicação do SAD THOR foi utilizado o somatório dos fatores e dos critérios relativos às alternativas.

Na aplicação do SAD THOR, foram realizados três estudos. No primeiro, os critérios receberam peso 1, optando-se pela igualdade de importância dos mesmos.

Existem fatores que influenciam mais de um critério simultaneamente, e estes fatores devem ser considerados na atribuição de pesos. Nesta situação, mesmo atribuindo peso 1 para cada critério, alguns fatores acabam por receber uma importância adicional. Por esta razão, o primeiro estudo foi feito em duas partes:

- **Ordenação das alternativas atribuindo peso 1 aos critérios**

Para a ordenação das alternativas foi atribuído o valor 2 para P e 100 para discordância. Enquanto que aos valores de Q foram todas iguais a 1, à Pertinência do peso foi atribuído o valor 1.

Utilizando a Teoria dos Conjuntos Aproximativos (TCA) no conjunto dos critérios, verificou-se que os critérios Confiabilidade e Durabilidade poderiam ser retirados por não afetarem na decisão. Assim, a ordenação ficou como mostra a Tabela IV.

Observação: o THOR possui um módulo próprio que implementa a TCA.

Tabela IV – Resultado da primeira parte do estudo com a ordenação das alternativas nos critérios considerados e ordenação das alternativas sem os critérios irrelevantes.

Alternativas	Todos os Critérios			Sem os Critérios Irrelevantes		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
1	0	0	0	0	0	0
2	1,5	1,7	2	1,5	1,75	2
3	1,5	1	1	1,5	1	1

Observa-se que a Alternativa 2, referente ao PVC 1, é a mais indicada nesta primeira parte do estudo.

- **Ordenação das alternativas atribuindo peso 1 aos fatores e estes sendo usados como critérios:**

Na segunda parte, para a ordenação dos critérios foi atribuído o valor 2 para P e 100 para discordância. Enquanto que os valores de Q ficaram iguais a 1, e a Pertinência do peso foi atribuída o valor 1.

O uso da TCA constatou que os, agora critérios (fatores), Dimensões, Peso, Estocagem, Selabilidade, Liberação de Poeira, Resistência ao Rasgo e Resistência à Temperatura, não influenciam a ordenação, isto é, são irrelevantes por estarem em igualdade de importância, não afetando, portanto, na decisão. Assim a ordenação ficou como a Tabela V:

Tabela V – Resultado da segunda parte do estudo com a ordenação das alternativas nos critérios considerados e ordenação das alternativas sem os critérios irrelevantes.

Alternativas	Todos os Critérios			Sem os Critérios Irrelevantes		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
1	0	0	0	0	0	0
2	1,7	1,5	2	1,3	1,5	2
3	1,7	1,25	1,5	1,3	1,3	1,6

Observa-se que a Alternativa 2 (PVC 1), também é a mais indicada nesta segunda parte do estudo.

- **Ordenação das alternativas usando pesos relativos atribuídos pelos decisores**

O terceiro estudo foi realizado com a aplicação do SAD THOR, onde os critérios receberam pesos relativos de acordo com os decisores e critérios, em cada cenário, descritos na Tabela III.

Tabela VI – Comparativo das pontuações (S1, S2 e S3) para alternativas e decisores.

Alternativas	Bio-Manguinhos			CAPA			CENADI			Postos Vacinação			Visão Integrada		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1,63	1,68	2	1,57	1,62	2	1,5	1,62	2	1,5	1,71	2	1,5	1,71	2
3	1	1	1	1	1	1	1,5	1	1	1,5	1	1	1,5	1	1

A partir da Tabela VI é possível visualizar o comparativo das preferências obtidas a partir dos três algoritmos de ordenação do Thor (S1, S2 e S3), conforme as informações de preferências dos decisores para as diferentes alternativas. Esta Tabela evidencia a preferência dos decisores pela alternativa 2 (PVC 1) em detrimento da alternativa 1 (Papelão) e da alternativa 3 (PVC 2).

O estudo de *data-mining*, usando a TCA permite inferir se determinado critério é suficiente para ordenar as alternativas, ou se determinado critério é irrelevante na ordenação, ou seja, a classificação das alternativas neste critério não permite uma diferenciação de atratividade entre as mesmas, e neste caso, se forem retirados do estudo não alteram a ordenação das alternativas. Tal resultado decorre de uma classificação muito próxima para estes critérios, associado aos pesos atribuídos aos critérios pelo decisor, o que evidencia a irrelevância desses critérios no processo.

Utilizando um estudo de *data-mining* usando a TCA para os diferentes algoritmos (S1, S2 e S3), verificou-se que:

- Para o decisor Bio-Manguinhos, os critérios Qualidade e Característica de Desempenho são irrelevantes;
- Para o decisor CAPA, os critérios Qualidade Percebida, Durabilidade e Conformidade são irrelevantes;
- Para o decisor CENADI, os critérios Confiabilidade, Estética, Qualidade e Durabilidade são irrelevantes;
- Para o decisor Postos de Vacinação, os critérios Confiabilidade, Qualidade Percebida, Desempenho e Durabilidade são irrelevantes;
- Para a Visão Integrada, os critérios Qualidade Percebida, Durabilidade e Conformidade são irrelevantes.

5. Conclusão

A responsabilidade pelos produtos pós-consumidos exige grande empenho e interesse por parte dos fornecedores e têm como objetivo principal a destinação responsável, devendo sempre contemplar a proteção ambiental, o desenvolvimento sustentável e, ao mesmo tempo, objetivando a economia de energia e de matéria-prima, a redução da poluição do ar, água, solo e subsolo, sem deixar de possibilitar ganhos econômicos e sociais.

Com base nos resultados apresentados neste trabalho, em relação às alternativas para disponibilização de resíduos plásticos, é possível distinguir que as alternativas **Reutilização e Reciclagem Mecânica** exercem uma forte dominância em relação às demais, na visão de todos os atores. A alternativa de **Aterro** sempre está na última posição para todas as ordenações, enquanto a **Incineração, Reciclagem Química e Reciclagem Térmica** estão em uma posição intermediária nas preferências dos decisores.

Considerando os resultados da avaliação das alternativas para a troca de embalagem de transporte, onde foram aplicados pesos diferentes pelos vários decisores, e que houve um *data-mining* por decisor, houve um consenso que o critério Qualidade não influencia na ordenação das alternativas, o critério Durabilidade não influencia na ordenação das alternativas para todos os decisores, exceto Bio-Manguinhos. Embora estes critérios não exerçam influência na ordenação, devem-se manter para as alternativas, os requisitos

mínimos de durabilidade e qualidade para uma alternativa ser considerada factível. Verifica-se que as alternativas após cumprirem os requisitos, passam a não ser diferenciadas nestes critérios, frente aos demais critérios. Ressaltando que existe uma clara preferência pela alternativa 2, seguindo-se a 3 e por fim a alternativa 1. Portanto, denota-se a possibilidade de promover a troca da embalagem de papelão (alternativa 1) por plástico (alternativas 2 e 3).

Por fim, verifica-se que a ferramenta SAD THOR, em função de suas características mostrou-se capaz de fornecer uma ordenação das alternativas em função de seus critérios e fatores de decisão, bem como uma visão parcial e/ou integrada dos diferentes atores envolvidos no processo decisório.

Referências Bibliográficas

- (1) ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2000). *NBR ISO 9001: Sistemas de Gestão da Qualidade – Requisitos*. Rio de Janeiro.
- (2) ABRE – Associação Brasileira de Embalagens (2005). Plástico e papel em disputa nas embalagens, **7**.
- (3) Adenso-Díaz, B.; González-Torre, P.L. & Ruiz-Torres, A. (2003). Some comparative factors regarding recycling collection systems in regions of the USA and Europe. *Journal of Environmental Management*, **69**(2), 129-138.
- (4) Adenso-Díaz, B.; González-Torre, P.L. & Artiba, H. (2004). Environmental and reverse logistics policies in European bottling and packaging firms *International Journal of Production Economics*, **88**(1), 95-104.
- (5) Alencar, L.H.; Gomes, C.F.S. & Costa, A.P.C.S. (2005). Gerenciamento de projeto na construção civil – estudo de caso utilizando o Sistema de Apoio à Decisão (SAD) THOR. *Pesquisa Naval*, **18**, 110-117, Brasília, nov./2005.
- (6) AMDE – Associação de Municípios do Distrito de Évora (2002). Sistema de Valorização e Tratamento de RSU. Portugal. <http://www.amde.pt/pagegen.asp?SYS_PAGE_ID=448037>. Acesso em outubro de 2008.
- (7) Ballester, E. (2000). Project finance: a multicriteria approach to arbitration. *Journal of the Operational Research Society*, **51**, 183-197.
- (8) Barbieri, J.C. (2004). *Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e instrumentos*. Editora Saraiva.
- (9) BPF – Boa Prática de Fabricação (1999). Medicamentos de uso humano e medicamentos veterinários. Comissão Europeia: Regras que regem os produtos farmacêuticos na União Europeia. V. 4.
- (10) Buchanan, J. & Gardiner, L. (2003). A comparison of two reference point methods in multiple objective mathematical programming. *European Journal of Operational Research*, **149**, 17-43.
- (11) Chen, J. & Lin, S. (2003). An interactive neural network-based approach for solving multiple criteria decision-making problems. *Decision Support Systems*, **36**, 137-146.
- (12) Choo, E.U. & Wedley, W.C. (2004). A common framework for deriving preference values from pairwise comparison matrices. *Computers & Operations Research*, **31**, 893-908.

- (13) Duchin, F. & Lange, G.M. (1998). Prospects for the recycling of plastics in the United States. *Structural Changes and Economic Dynamics*, **9**, 307-331.
- (14) Embanews Packnews (2001). *Brazil data service*.
- (15) Essential Action (2008). Questions & Answers About Incineration. <www.essentialaction.org/waste/kit/english/Q&A.pdf>. Acesso em outubro de 2008.
- (16) Fellipo, S. & Gomes, C.F.S. (2005). Aplicação do multicritério na priorização de rodovias federais no contexto de um programa de recuperação ambiental. **In: *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – XXXVII SBPO, 2005, Gramado. 894-906.***
- (17) Figueira, J. & Roy, B. (2002). Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simo's procedures. *European Journal of Operational Research*, **139**, 317-326.
- (18) GLU – Great Lakes United (2008). Incineration of Municipal Solid Waste. Understanding the Costs and Financial Risks – Fact Sheet 4. <http://www.glu.org/english/clean_production/incineration/FS4costs.pdf>. Acesso em outubro de 2008.
- (19) Gomes, C.F.S. (1999). THOR – Um Algoritmo Híbrido de Apoio Multicritério à Decisão para Processos Decisórios com Alternativas Discretas. Tese de Doutorado, Engenharia de Produção, COPPE-UFRJ, 1999.
- (20) Gomes, C.F.S. & Gomes, L.F.A.M. (1999). Uma Aplicação de Conjuntos Aproximativos ao Apoio Multicritério à Negociação. *Revista Pesquisa Naval*, **12**, 263-270.
- (21) Gomes, C.F.S.; Gomes, L.F.A.M. & Valle, R. (2000). Aplicação do THOR em um Processo de Seleção de Pessoal. *XXXII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Viçosa*.
- (22) Gomes, C.F.S.; Gomes, L.F.A.M. & Valle, R. (2001). Nova Proposta de Aplicação do Apoio Multicritério à Decisão (Algoritmo THOR) em Ordenação de Alternativas. **In: *XI Encontro Nacional dos Estudantes de Engenharia de Produção – ENEGEP-2001. V.1.***
- (23) Gomes, C.F.S.; Gomes, L.F.A.M. & Valle, R.A.B. (2002). One Application of THOR in a Process of Personal Evaluation. *The Sixteenth Triennial Conference of the International Federation of Operation Research Societies, IFORS-2002, Edinburgh*.
- (24) Gomes, C.F.S.; Gomes, L.F.A.M. & Valle, R.A.B. (2002a). One Application THOR (A Multicriteria Decision Aiding Hybrid Algorithm Applied to the Decision Process with Discrete Alternatives). **In: *12th. Mini-Euro Conference, Bruxelas***.
- (25) Gomes, C.F.S. & Ribeiro, P.C.C. (2004). *Gestão da Cadeia de Suprimentos Integrada à Tecnologia da Informação*. Editora Thonson Learning, São Paulo.
- (26) Gomes, C.F.S. (2005). Using MCDA Methods THOR in an Application for Outranking the Ballast Water Management Options. *Revista Pesquisa Operacional*, **25**(1), 11-28.
- (27) Gomes, C.F.S. (2006). Modelagem Analítica Aplicada a Negociação e Decisão em Grupo. *Revista Pesquisa Operacional*, **26**(3), 537-566.
- (28) Gomes, C.F.S.; Xavier, L.H. & Valle, R. (2008). Multicriteria Decision Making Applied to Waste Recycling in Brazil. *Omega – The International Journal of Management of Science*, **36**, 395-404.
- (29) Gomes, L.F.A.M. (1991). Conflito e Negociação no Planejamento Participativo: Uma Formulação de Análise de Decisões com Múltiplos Critérios. *Revista Investigación Operativa*, **2**(2), 111-119, Diciembre.

- (30) Gomes, L.F.A.M.; Gomes, C.F.S. & Almeida, A.T. (2006). *Tomada de Decisão Gerencial o Enfoque Multicritério*. Segunda Edição, Editora Atlas.
- (31) He, Y. & Huang, R.-H. (2008). Risk attributes theory: decision making under risk. *European Journal of Operational Research*, **186**(1), 243-260, April.
- (32) Huntsman Polyurethanes (2000). <http://www.huntsman.com/pu/Media/background_du_vergier.pdf>. Acesso em outubro de 2008.
- (33) Hur, T.; Lim, S. & Lee, H. (2003). A Study on The Eco-efficiencies for Recycling Methods of Plastics Wastes. *InLCA 2003*, 22 a 25 de setembro de 2003, Seattle, Washington. <www.lcacenter.org/InLCA-LCM03/Hur-presentation.pdf>. Acesso em outubro de 2008.
- (34) ISO/IEC 17025:1999. (1999). *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. First edition, Genebra.
- (35) Leya-Lopez, J.C. & Fernandez-Gonzalez, E.F. (2003). A new method for group decision based on ELECTRE II methodology. *European Journal of Operational Research*, **148**, 14-27.
- (36) Lira, C.F.A.; Mota, C.M.M. & Gomes, C.F.S. (2006). Seleção de Contratos de Serviço na Construção Civil. *IX Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha, SPOLM-2006*. Rio de Janeiro, 187-194.
- (37) Lugosi, L. & Battersby, A. (1990). Transport and storage of vaccines in Hungary: the first cold chain monitor study in Europe. *Bulletin of the World Health Organization*, **68**(4), 431-439.
- (38) Lundbeck, H.; Hakansson, B.; Lloyd, J.S.; Litvinov, S.K. & Assad, F. (1978). A cold box for transport and storage of vaccines. *Bulletin of the World Health Organization*, **56**(3), 427-432.
- (39) Marmol, A.M.; Puerto, J. & Fernández, F.R. (2002). Sequential incorporation of imprecise information in multiple criteria decision processes. *EJOR*, **137**, 123-133.
- (40) Matsatsinis, N.F. & Samaras, A.P. (2001). MCDA and preferences disaggregation in group decision support systems. *European Journal of Operational Research*, **130**, 414-429.
- (41) Michaeli, W. (1995). *Tecnologia dos plásticos*. Edgard Blücher, s.l.
- (42) Miskolczi, N.; Bartha, L. & Deák, G. (2006). Thermal degradation of polyethylene and polystyrene from the packaging industry over different catalysts into fuel-like feed stocks. *Polymer Degradation and Stability*, **91**, 517-526.
- (43) Nunes, K.R.A.; Gomes, C.F.S. & Valle, R. (2003). Centrais de Reciclagem de RCD implantadas no Brasil: Uso da Metodologia THOR para avaliar desempenhos. *In: VI Simpósio de Pesquisa Operacional e VII Simpósio de Logística da Marinha, 2003*, Rio de Janeiro.
- (44) Oliveira, L.B. & Rosa, L.P. (2003). Brazilian waste potential: energy, environmental, social and economic benefits. *Energy Policy*, **31**, 1481-1491. <<http://www.ivig.coppe.ufrj.br/docs/BWP.pdf>>. Acesso em outubro de 2008.
- (45) PLASTIVIDA/FIPMA. (2001). *Manual de Valorización de los Residuos Plásticos*. 3ª ed. Buenos Aires, 7-18.

- (46) Pun, K.; Hui, I.; Lewis, W.G. & Henry, C.W. (2003). A multiple-criteria environmental impact assessment for the plastic injection molding process: a methodology. *Journal of Cleaner Production*, **11**, 41-49.
- (47) Queiroz, A. (2002). *Ética e responsabilidade social nos negócios*. Saraiva, São Paulo.
- (48) Rolim, S.P. (2008). <www.plastico.com.br/revista/pm323/plastivida.htm>. Acesso em outubro de 2008.
- (49) Roy, B. (1985). *Methodologie Multicrièrè d'Aide à la Décision*. Editora Econômica, Paris, France.
- (50) Roy, B. & Vanderpooten, D. (1996). The European School of MCDA: Emergence, Basic Features and Current Works. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, **5**, 22-38.
- (51) Saaty, T.L. (1990). *Decision Making for Leaders*. RWS Publications, Pittsburgh.
- (52) Silva, J.A. (2002). Análise da qualidade da coleta e disposição final dos resíduos sólidos domiciliares da cidade de Ivaiporã – Estado do Paraná. *SANARE*, **17**(17), 94-112. <www.sanepar.com.br/sanepar/sanare/v17/ANALISEDAQUALIDADEDEDACOLETA.htm> Acesso em outubro de 2008.
- (53) Tosta, A. & Gomes, C.F.S. (2005). Sistema de apoio à decisão multicritério THOR aplicado na avaliação das alternativas de aquisição de equipamentos de laser. **In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – XXXVII SBPO**, 2005, Gramado, 1170-1182
- (54) Valery, P.P.T. (2003). Boas Práticas para Estocagem de Medicamentos. <http://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/cd05_05.pdf>. Acesso em outubro de 2008.
- (55) Varlan, E. & Paillier, R.L. (1999). Multicriteria Decision making for contract research organisation choice in the pharmaceutical industry. *Journal of the Operation Research Society*, **50**, 943-948.
- (56) Whelan, T. & Goff, J. (1998). *Injection molding of thermoplastics materials*. Tony Whelan and John Goff, London.
- (57) Xavier, L.H.; Gomes, C.F.S.; Valle, R.; Nunes, K.R.A. & Cardoso, R. (2004). Multiple criteria decision making and environmental management through THOR system assessment: plastic material waste destination and performance evaluation of Brazilian construction and demolition waste recycling facilities – case studies. **In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SBPO**, 2004, São João Del Rei, 1054-1064.
- (58) Zaffran, M. (1996). Vaccine Transport and Storage: Environmental Challenges. New Approaches to Stabilization of Vaccine Potency. *Dev. Biol. Stand.*, **87**, 9-17.
- (59) Zhang, Q.; Chen, J.C.H. & Chong, P.P. (2003). Decision consolidation: criteria weight determination using multiple preference formats. *Decision Support Systems*.
- (60) Zopounidis, C. & Doumpos, M. (2000). PREFDIS: a multicriteria decision support system for sorting decision problems. *Computers and Operations Research*, **27**, 779-89.

ANEXO I

Tabela I do Anexo I – Classificação das alternativas.

ALTERNATIVAS FATORES	CRITÉRIOS																		Agregação		
	Durabilidade			Conformidade			Desempenho			Confiabilidade			Estética			Qualidade					
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Dimensões				2	2	2	1	2	2				1	2	2				4	6	6
Peso				2	2	2	1	2	2				1	2	2				4	6	6
Estocagem				1	2	2	1	2	2				1	2	2				3	6	6
Transparência				0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	10	10
Identificação				1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	5	10	10
Selabilidade	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	11	12	12
Segurança	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	11	12	12
Manipulação	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	10	12	12
Ambiente estéril	1	2	2	1	2	2	1	2	2							1	2	2	4	8	8
Resistência. Rasgo	1	2	1	2	2	2	2	2	1							2	2	1	7	8	5
Resistência. Mecânica	1	2	1	2	2	1	2	2	1							2	2	1	7	8	4
Resistência Temperatura	1	2	2	1	2	2	1	2	2							2	2	2	5	8	8
Agregação	7	14	12	18	24	23	16	24	22	7	10	10	10	16	16	13	18	16			