



# 10<sup>th</sup> INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

“TEN YEARS WORKING TOGETHER FOR A SUSTAINABLE FUTURE”

## **Environmental, economic and technical performance: a comparative study of carrier bags**

CARVALHO, J. S. <sup>a</sup>, MACEDO, J.R.N. <sup>a</sup>, OLIVEIRA, S. A. <sup>a</sup>, ROSA, D.S. <sup>a\*</sup>

*a. Universidade Federal do ABC (UFABC), Santo André/SP, Brasil*

*\*Derval dos Santos Rosa, derval.rosa@ufabc.edu.br*

### **Resumo**

O conceito de desenvolvimento sustentável surgiu do questionamento sobre a disponibilidade e a taxa de consumo dos recursos naturais. A metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e o conceito de Ecoeficiência vêm trazendo alta contribuição para a literatura. O principal objetivo destas é gerenciar a sustentabilidade com resultados que esclareçam alternativas menos impactantes para um processo ou produto. Neste âmbito, o cenário desfavorável da destinação final inadequada do material plástico após seu uso necessita de maior aprofundamento. O presente artigo traz resultados de uma análise realizada comparando diferentes materiais para aplicação em sacolas descartáveis, de acordo com a série de normas NBR ISO 14040. Foram analisadas sacolas biodegradáveis desenvolvidas com composições de Ecovio<sup>®</sup> (polímero biodegradável, composto de poli (butileno adipato cotereftalato) (PBAT) e poli (ácido láctico) (PLA), Ecoflex<sup>®</sup> (baseado em PBAT) (amostra ECO). O desempenho ambiental, econômico e técnico destas composições foi também comparado com alternativas convencionais (sacola de papel kraft - PAPEL e de polietileno - PE). Foi realizado o balanço simultâneo com os indicadores de impactos ambientais, econômicos e técnicos para verificar as alternativas com os melhores comportamentos. No desenvolvimento da análise foram utilizadas metodologias que avaliam tanto o desempenho ambiental como também caracterizam filmes poliméricos. Os resultados mostraram que dentre as 12 categorias analisadas, as mais relevantes foram Resíduos Sólidos/Consumo de Energia (desempenho ambiental) e Ângulo de Contato/Sorção de água (desempenho técnico). As sacolas convencionais não obtiveram retorno financeiro após destinação final, no entanto apresentaram o menor custo durante todo o ciclo de vida. Por fim, as matrizes de Impacto Ambiental e Caracterização combinadas mostraram que a amostra ECO apresentou o melhor balanço, demonstrando o menor impacto ambiental e um satisfatório desempenho técnico.

*Palavras-chave: Polímeros biodegradáveis, sacolas descartáveis, Avaliação do Ciclo de Vida, Caracterização de polímeros*

### **1. Introdução**

Os conceitos de desenvolvimento sustentável e ecoeficiência passaram a ser essenciais pois conceituam a relação entre produção, recursos naturais e impactos ambientais. Esses conceitos tendem a garantir um ambiente equilibrado, diante do cenário de esgotamento dos recursos naturais e dificuldades de gestão dos mesmos (GUO *et al.*, 2016). Desse modo, algumas metodologias possibilitam a busca pela sustentabilidade, por meio da identificação de impactos ambientais associados aos processos, produtos e serviços, tais como a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

A ACV consiste na abordagem dos aspectos e potenciais impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de um produto, processo ou serviço, desde a obtenção das matérias-primas até a destinação final, avaliando assim se um produto é ou não ambientalmente amigável (ALLESCH e BRUNNER, 2014). Renouf *et al.* (2010) utilizaram a metodologia de ACV para avaliar a produção agrícola de cana-de-açúcar. Outros autores aplicaram a mesma metodologia para avaliar a produção de leite (THOMASSEN *et al.*, 2008). Weiler *et al.* (2017) utilizaram em um projeto de construção civil a ACV para comparar os processos de demolição e reconstrução. Nesse sentido, pode-se observar que a ACV é importante e aplicável aos diversos setores da sociedade.

O setor de materiais plásticos também aplica a ACV em seus produtos e matérias-primas. Chen *et al.* (2016) realizaram uma ACV comparativa de garrafas de PET a base de combustíveis fósseis e de base biológica. Outros autores utilizaram essa metodologia para avaliar a manufatura de PLA da cana-de-açúcar da Tailândia (GROOT e BORÉN, 2010). Os impactos ambientais de sacolas produzidas com plástico convencional e com base biológica também foram avaliados utilizando LCA (KHOO *et al.*, 2010). Percebe-se na literatura que esta metodologia vem trazendo altas contribuições para área de polímeros. No Brasil, essa avaliação já é presente há mais de uma década (QUEIROZ e GARCIA, 2011).

Segundo Andrade *et al.* (2016), a ACV é relevante para comparação de diferentes formas de destinação de filmes poliméricos. Os autores mostraram que o impacto ambiental é substancializado pelo consumo de energia, ao considerarem as alternativas de destinação final: compostagem, reciclagem química e reciclagem mecânica. Forlin *et al.* (2002) destacaram a importância desse método para o setor de sacolas e embalagens descartáveis em seu estudo. Para estes, o método pode possibilitar uma visão sistêmica dos impactos ambientais, das etapas críticas da produção e uso, das informações básicas das questões ambientais, do balanço econômico, entre outros.

Este setor também vem demonstrando elevado crescimento produtivo e substituição de outras embalagens, como por exemplo, as de papel. Dentre as vantagens apresentadas pelas sacolas plásticas está o baixo custo, a leveza, a capacidade de suportar carga, o fácil processamento e a alta flexibilidade (ABIPLAST, 2014, SANTOS e DUARTE, 2015, BRINE e THOMPSON, 2010). Por outro lado, estas alternativas apresentam impactos ambientais elevados.

Segundo Künkel *et al.* (2016), mudanças nas legislações e maior preocupação dos consumidores por produtos ambientalmente amigáveis têm motivado o crescimento de sacolas comerciais biodegradáveis. Trabalhos recentes vêm reportando os benefícios da aplicação de materiais verdes, biomateriais, polímeros biodegradáveis e alternativas de menor impacto ambiental. Há diferentes polímeros já comerciais, por exemplo, Ecovio<sup>®</sup>, Ecoflex<sup>®</sup> e I'm Green<sup>™</sup> Polyethylene, com propriedades similares ou melhores a outros convencionais. No entanto, estas alternativas ainda apresentam custo superior, tornando difícil a escolha mais equilibrada.

Poucos autores contemplaram a combinação de métodos de avaliação da performance ambiental e técnico dos materiais. Macedo e Rosa (2016) verificaram que a ACV pode contribuir para a visão sistêmica da *performance* dos polímeros, ressaltando as principais características que influenciam na degradação e aplicação de filmes. No presente artigo, os objetivos foram preparar sacolas biodegradáveis para comparação com alternativas convencionais (sacolas de papel e de polietileno), e avaliar simultaneamente os desempenhos ambiental, econômico e técnico durante todo o ciclo de vida.

## 2. Métodos

Os materiais utilizados nesse trabalho foram: copoliéster alifático aromático biodegradável (Ecoflex<sup>®</sup>) e a blenda comercial PLA/PBAT (Ecovio<sup>®</sup>) da BASF S.A. - Alemanha. Para fins de comparação, também foram utilizadas sacolas comerciais de papel kraft (amostra PAPEL) e de polietileno (amostra PE).

Para preparação da amostra biodegradável, os materiais foram estufados a 50° C por 72 horas e então misturados manualmente. A formulação biodegradável (amostra ECO), foi baseada na proporção (m/m) de Ecovio<sup>®</sup>:Ecoflex<sup>®</sup> em 60:40. Esta foi processada em uma extrusora modelo AX-Plastics (L/D = 26), perfil de temperatura de 140/162/178°C e a velocidade da rosca foi 180 rpm.

*Avaliação do Ciclo de Vida: Desempenho ambiental e econômico*

De acordo com a série de normas NBR ISO 14040, um estudo de ACV exige a definição do objetivo e escopo. O objetivo foi avaliar o desempenho ambiental e econômico de alternativas que cumprem a mesma função.

A função é a definição das características que o sistema estudado irá realizar. No presente estudo foi para produzir, usar e descartar sacolas descartáveis. A Unidade Funcional (UF) é a quantificação adotada, de acordo com sua função, utilizada como unidade de referência no estudo. A UF definida foi de 6.642.504 sacolas descartáveis, levando em conta o consumo mensal de 66 sacolas pelos 8.387 alunos de uma Universidade Federal.

O escopo do projeto foi definido como do “berço ao berço”, ou seja, foram considerados os aspectos e potenciais impactos ambientais gerados desde a extração dos recursos naturais até a disposição final das sacolas, inserindo os produtos gerados em um novo processo, fechando o ciclo produtivo das sacolas. Os dados correspondem ao ano de 2015.

Os Impactos Ambientais foram baseados na metodologia de Ecoeficiência (NSF, 2013) e considerando sete categorias de impacto: (A) Consumo de energia: foi calculado o consumo total de energia durante o ciclo de vida; (B) Consumo de Recursos Abióticos: foi calculado com base na disponibilidade de recursos e na taxa de consumo; (C) Água Consuntiva: foi considerado o consumo total de água ao longo do ciclo de vida, por assimilação ao produto final, perdido por evaporação ou descartado como efluente; (D) Gases de Efeito Estufa: foram calculadas as emissões geradas por todos os gases que contribuem para a retenção de radiação infravermelha na crosta terrestre e aumentam a temperatura da Terra; (E) Efluentes: foi estimada a quantidade de água necessária para diluir cada poluente contido no efluente; (F) Resíduos sólidos: somatória dos resíduos gerados durante o ciclo de vida; (G) Uso da Terra: foi considerado quanto um processo foi impactante em relação à ocupação e ao uso de uma área.

Os Impactos Econômicos foram calculados através do levantamento de todos os custos envolvidos durante todo o ciclo de vida avaliado, para cada alternativa analisada. Este impacto considerou custos (de produção, fabricação, utilização, destinação final e transporte) e lucro (venda de fertilizantes orgânicos e turfa). O valor total foi mensurado em reais (R\$).

#### *Caracterização das amostras: desempenho técnico*

A função técnica das sacolas para a produção, uso e destinação final, a partir de cada amostra, podem ser avaliadas por meio de diferentes testes de caracterização de filmes poliméricos. O Desempenho Técnico foi avaliado pela caracterização de cinco categorias de impactos: (H) Ângulo de contato: foi medida a molhabilidade pela determinação do ângulo de contato (tensiômetro DCAT) pelo método da gota séssil; (I) Histerese: foi determinada pela diferença entre os ângulos de avanço e recuo; (J) Trabalho de Adesão: foi calculado pelo trabalho necessário para a estabilidade do sistema; (K) Sorção de Água: foi obtida monitorando a massa absorvida em água após 336 horas; (L) Perda de Massa: foi medida por biodegradação em solo simulado. Após cada retirada, as amostras foram limpas, secas e depois pesadas ( $\Delta m$ ).

#### *Relevância*

A Relevância é a contribuição de impactos individuais perante um impacto total gerado num determinado contexto. A Relevância Ambiental foi calculada dividindo o impacto da categoria ambiental analisada pelo impacto total na região estudada (Brasil e Alemanha). A Relevância da Caracterização Técnica foi calculada dividindo o impacto das caracterizações ensaiadas pelo impacto total da amostragem (todas amostras).

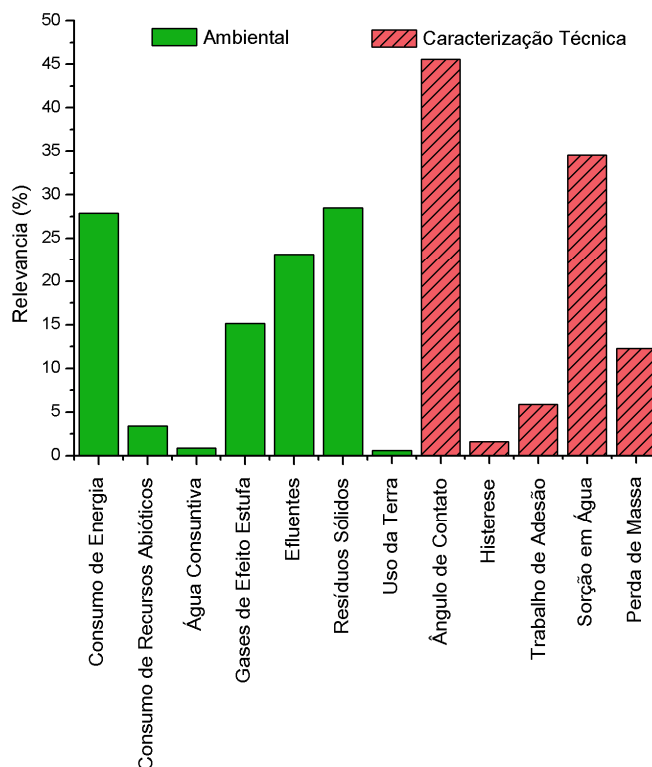
#### *Matriz de Eficiência*

A Matriz de Eficiência demonstra as alternativas que atendam à função pretendida, tendo em vista os desempenhos ambiental, econômico e técnico combinados. Os resultados da Matriz consideraram: a) Impacto Ambiental x Impacto Econômico; b) Caracterização Técnica x Impacto Econômico; c) Impacto Ambiental x Caracterização Técnica

### 3. Resultados

#### Relevância

Na Fig. 1 é possível observar os valores de relevância, considerando as três alternativas analisadas. No grupo da relevância ambiental, as categorias ponderadas foram: Consumo de Energia, Consumo de Recursos Abióticos, Água Consuntiva, Gases de Efeito Estufa, Efluentes, Resíduos Sólidos e Uso da Terra. Sob a perspectiva da Caracterização Técnica, as categorias ponderadas no grupo foram: Ângulo de Contato, Histerese, Trabalho de Adesão, Sorção em Água e Perda de Massa.



**Fig. 1.** Relevância das categorias Ambiental e Técnicas.

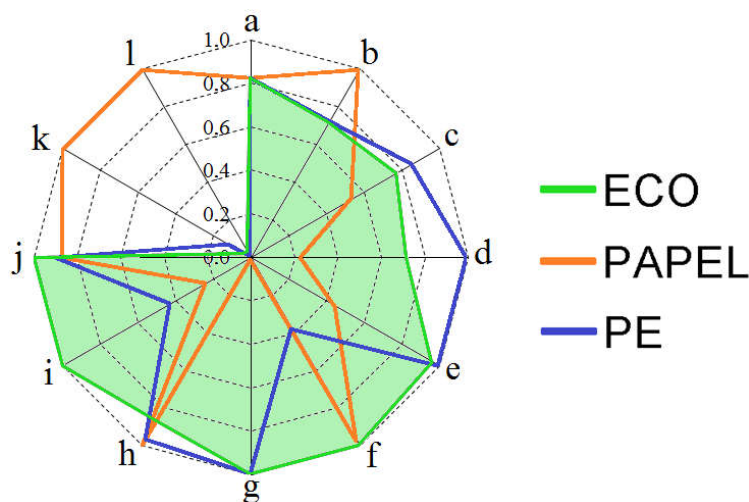
Na Fig. 1 foi observado que as categorias ambientais mais relevantes são: Resíduos Sólidos (28,5%) e Consumo de Energia (27,9%). Na categoria de Resíduos Sólidos, a amostra ECO apresentou pouco impacto, cerca de  $13 \cdot 10^3$  kg/UF, esse resultado é consequência da degradação das matérias-primas, transformando-as em emissões atmosféricas durante o processo de compostagem. A amostra PAPEL também se converteu em emissões atmosféricas, apresentado valor similar à amostra biodegradável. No entanto, esse processo de degradação ocorreu no aterro sanitário. Por outro lado, a amostra PE não apresentou degradação no aterro sanitário durante o ano de estudo, por conta da sua hidrofobicidade (MACEDO e ROSA, 2016), permanecendo como resíduo ( $35 \cdot 10^3$  kg/UF). Na categoria de Consumo de Energia, o maior impacto foi apresentado na produção das matérias-primas, sendo que a amostra ECO mostrou consumo de impacto ( $1,32 \cdot 10^6$  MJ/UF) similar às amostras PE ( $1,36 \cdot 10^6$  MJ/UF) e PAPEL ( $1,26 \cdot 10^6$  MJ/UF).

A relevância apresentada pelas categorias de Caracterização Técnica mostrou maior significância para: Ângulo de Contato (45,6%) e Sorção de Água (34,7%). Em relação ao Ângulo de Contato, a amostra ECO apresentou menor molhabilidade em relação às demais, o que sugere que esse material possui melhor resistência superficial à água e assim biodegradação lenta (MACEDO e ROSA, 2015). Na categoria de Sorção de Água, a amostra ECO apresentou menor retenção, cerca de 0,3%, justificada pela sua molhabilidade. A amostra PE, um típico polímero hidrofóbico, demonstrou resultado similar de baixa sorção, aproximadamente 1,0% (ABEDNEJAD *et al.*, 2016). Por outro lado, a alternativa PAPEL

apresentou elevada Sorção de Água (93%), justificada pelo alto coeficiente de sorção da celulose (MACEDO e ROSA, 2015).

### Impressão Ambiental & Técnica

Essa abordagem tem sido utilizada por vários autores desde a elaboração do conceito de Impressão Ambiental (REES, 1992, WACKERNAGEL, 1994). O método contribuiu em outros trabalhos de embalagens, como o estudado por Dhaliwal *et al.* (2014), ou mesmo para ponderação de diferentes indicadores de *performance* (MACEDO e ROSA, 2016). Neste caso, a abordagem foi expressa a combinação do desempenho nos campos ambiental e técnico para expressá-los em uma teia de desempenho. A Fig. 2 apresenta os resultados das impressões digitais das amostras ECO, PAPEL e PE, considerando o desempenho normalizado de cada uma das 12 categorias. A área demarcada por cada característica aumentou quanto menor for seu impacto negativo ambiental e melhor seu desempenho técnico.



**Fig. 2.** Impressão Ambiental & Técnica das amostras. Categorias: a-Consumo de Energia, b-Consumo de Recursos Abióticos, c-Água Consuntiva, d-Gases de Efeito Estufa, e-Efluentes, f-Resíduos Sólidos, g-Use da Terra, h-Ângulo de Contato, i-Histerese, j-Trabalho de Adesão, k-Sorção em Água, l-Perda de Massa.

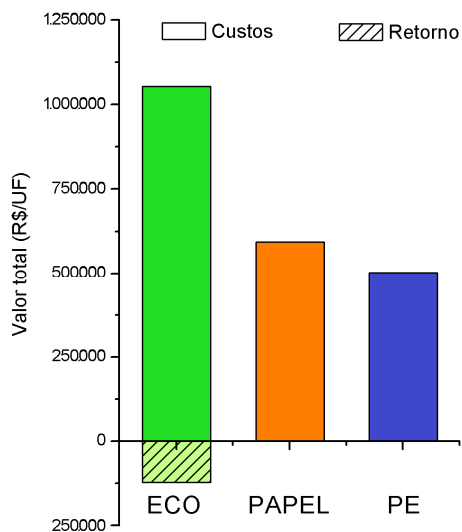
Os resultados da Fig. 2 mostraram que a amostra ECO (preparada com Ecoflex<sup>®</sup>/Ecovio<sup>®</sup>) apresentou a melhor média considerando as 12 categorias, cerca de 75%. Seu desempenho para Consumo de Energia, Efluentes, Resíduos Sólidos e Uso da Terra foi elevado (acima de 95%), devido ao baixo impacto apresentado por essa alternativa em todo o ciclo de vida. Pode-se destacar que a categoria em que essa amostra foi a menos favorável é Ângulo de Contato. Este resultado refletiu em sua lenta degradação e sorção, conforme observado nas categorias Perda de Massa e Sorção de Água. Embora a amostra ECO tenha apresentado pouca perda de massa, durante o tempo avaliado, outros autores confirmam que este material é completamente biodegradável e difere em condições de simulação laboratorial ou de compostagem seletivas (TABASI, AJJI, 2015, POKHREL *et al.*, 2016).

A amostra PAPEL apresentou média total de aproximadamente 68%, um valor similar ao PE (69%), sendo ambas as médias inferiores à amostra ECO. Para o PAPEL as categorias mais impactantes para o processo produtivo foram Gases de Efeito Estufa, Efluentes, Uso da Terra e Histerese. Essas categorias têm grande relevância e interferem muito em termos de políticas públicas de produção extrativa do eucalipto. De acordo com Vieira *et al.* (2010), o eucalipto, principal matéria prima do papel, apresenta alto impacto em termos de Avaliação do Ciclo de Vida. No Brasil há novos estudos focados na redução desse impacto, reaproveitando esse recurso natural (COOK *et al.*, 2016). De acordo com os resultados, houve uma ocupação total de área de 2,496 m<sup>2</sup>/UF. Por outro lado, as categorias de desempenho técnico para o PAPEL mostraram grande Sorção de Água e Perda de Massa. Este resultado confirma que este tipo de alternativa tem forte interação com a água, levando à sua fragmentação e rápida biodegradação no solo, com uma vida curta para mineralização.

A amostra de PE mostrou o pior desempenho em Consumo de Recursos Abióticos e Resíduos Sólidos. De acordo com os resultados observados, o consumo total de recursos foi de 28,417 kg/UF. A principal fonte dessa alternativa é o petróleo e seu processo de extração reflete os impactos dessa amostra. No entanto, esse material é o mais presente no setor comercial. Os resultados de Sorção de Água e Perda de Massa confirmam que este não é um polímero biodegradável ou hidrolisável. Estas são Caracterizações Técnicas que confirmam esta amostra como resistente, mas imprópria para disposição em solo compostado. A reciclagem deste material pode ser um processo interessante e aplicável por outros autores para a valorização do PE e reduz seu impacto (MACEDO e ROSA, 2016).

### Impactos Econômicos

A Fig. 3 mostra o valor total dos custos e do retorno das amostras ao longo de todo seu ciclo de vida, de acordo com a UF de 6.642.504 sacolas.



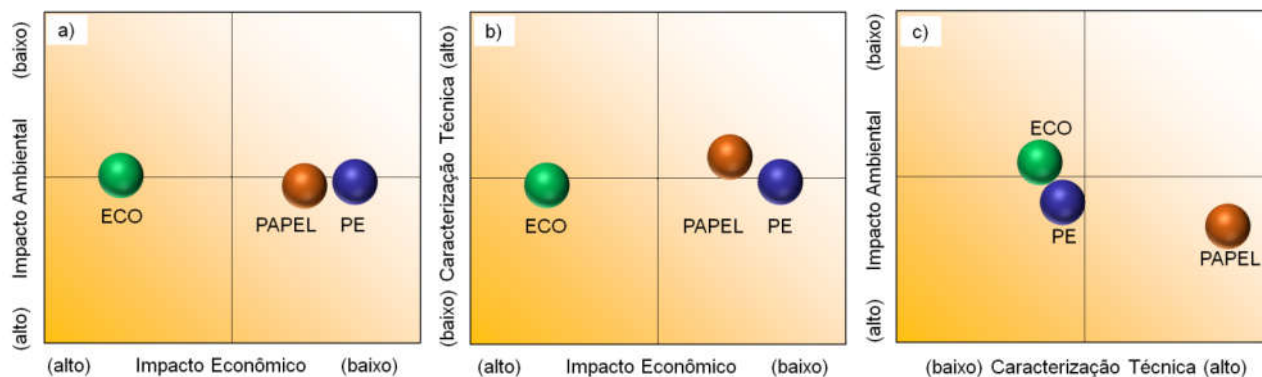
**Fig. 3.** Valor total dos custos e retorno ao longo do ciclo de vida das amostras.

A amostra ECO apresentou os maiores custos, sendo que o maior impacto econômico está atrelado à produção e aquisição de suas matérias-primas (Ecoflex<sup>®</sup> e Ecovio<sup>®</sup>), principalmente por conta dos polímeros biodegradáveis ainda serem mais caros do que os polímeros convencionados e também, nesse estudo, por serem importados da Alemanha. No entanto, vale ressaltar que essa alternativa pode trazer um retorno financeiro, podendo chegar à R\$ 100.000,00, decorrente da venda do fertilizante orgânico e da turfa.

A amostra PAPEL apresentou impacto econômico intermediário entre a ECO e a PE, com custo total de  $5,9 \cdot 10^5$  R\$/UF. Esse baixo valor é reflexo da alta produção nacional de sua principal matéria-prima. O menor custo foi apresentado no ciclo de vida da amostra PE ( $5,0 \cdot 10^5$  R\$/UF). Esse resultado pode ser justificado pela produção elevada deste *commoditie*, onde cerca de 40% do seu setor produtivo é direcionado à produção de utensílios descartáveis e embalagens.

### Matriz de Eficiência

A Fig. 4 apresenta os resultados da Matriz de Eficiência considerando: 4a) Impacto Ambiental x Impacto Econômico, 4b) Caracterização Técnica x Impacto Econômico, 4c) Impacto Ambiental x Caracterização Técnica. Sendo que, a alternativa considerada mais eficiente, é aquela que se encontra mais próxima do quadrante superior direito.



**Fig. 4.** Resultados da Matriz de Eficiência: 4a) Impactos Ambiental x Impactos Econômico, 4b) Caracterização Técnica x Impacto Econômico, 4c) Impactos Ambiental x Impactos Técnico.

Conforme a Fig. 4a foi observado que a amostra ECO apresentou o menor impacto ambiental e o maior impacto econômico, valores já observados nos resultados da Impressão Ambiental & Técnica e dos Impactos Econômicos. Nesta Figura, também foi observado que as amostras PAPEL e PE apresentaram maiores impactos ambientais com menores custos, corroborando com a discussão anterior. Nesta composição de desempenhos, entre custos totais e aspectos ambientais, a alternativa mais eficiente foi a de PE.

Na Fig. 4b, a amostra ECO demonstrou resultados de Caracterização similares à alternativa comercial PE, no entanto, ambas mostraram menores desempenhos técnicos com relação à amostra PAPEL. Sendo assim, nesta consideração, de custos totais e aspectos técnicos, a amostra mais eficiente foi a de PAPEL.

Conforme a Fig. 4c, a amostra ECO apresentou baixo impacto ambiental com um comportamento técnico satisfatório, similar ao PE, exibindo condições favoráveis para atender a função estabelecida no estudo. Neste cenário, que desconsiderou os impactos econômicos, a amostra de maior eficiência ambiental-técnica foi a ECO.

### 3. Considerações Finais

O trabalho concluiu que foi possível realizar um estudo conjunto entre os desempenhos ambiental e técnico, seguindo o mesmo método de avaliação. Nesse sentido, os resultados das sete categorias ambientais avaliadas mostraram que as mais relevantes (Resíduos Sólidos e Consumo de Energia), foram as que mais contribuíram para o impacto geral na região estudada. O desempenho técnico, considerando as cinco categorias de caracterização, mostrou que as mais relevantes (Ângulo de Contato e Sorção de Água) foram as que mais contribuíram para o desempenho total de todas as alternativas. Os resultados da Impressão Ambiental & Técnica permitiram concluir que a amostra ECO apresenta o melhor desempenho total (75%). A alternativa PAPEL mostrou o pior desempenho (68%) e principal impacto para Uso da Terra. Por fim, a alternativa PE apresentou baixo desempenho (69%) e alto impacto em Resíduos Sólidos e Ângulo de Contato. Com relação aos aspectos econômicos, foi possível verificar que a amostra ECO apresentou o maior custo total do ciclo de vida, porém, é a única com retorno financeiro. A Matriz de Eficiência apontou que a combinação de dos custos totais e aspectos ambientais, mostrou que a alternativa mais eficiente foi a PE. Para as considerações de custos totais e aspectos técnicos, a amostra mais eficiente foi a PAPEL. Por fim, em um cenário onde os custos totais podem ser equiparados para cada alternativa, a matriz de eficiência de Impacto Ambiental x Caracterização Técnica, resulta em uma maior eficiência para a amostra ECO.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a UFABC, a Fundação Espaço ECO, a CAPES, e ao CNPq (nº 306401/2013-4, 447180/2014-2).

## Referências

- ABEDNEJAD, A.S., AMOABEDINY, G., GHAEI, A., 2014. Surface modification of polypropylene membrane by polyethylene glycol graft polymerization. *Materials Science and Engineering: C*. 42, p. 443-450.
- ABIPLAST, 2015. Perfil da Indústria Brasileira de Transformados Plásticos 2015. <http://www.abiplast.org.br/site/publicacoes/perfil-2015>. Acessado em Fevereiro/2017.
- ALLESCH, A., BRUNNER, P.H., 2014. Assessment Methods for Solid Waste Management: a Literature Review. *Waste Management and Research*. 32, 6, 461-473.
- ANDRADE, M.F.C., SOUZA, P.M.S., CAVALETT, O., MORALES, A.R., 2016. Life Cycle Assessment of Poly(Lactic Acid) (PLA): Comparison Between Chemical Recycling, Mechanical Recycling and Composting. *Journal of Polymers and the Environment*. 24, 4, 372-384.
- BRINE, T.O., THOMPSON, R.C., 2010. Degradation of plastic carrier bags in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*. 60, 12, 2279-2283.
- CHEN, L., PELTON, R.E.O., SMITH, T., 2016. Comparative life cycle assessment of fossil and bio-based polyethylene terephthalate (PET) bottles. *Journal of Cleaner Production*. 137, 667-676.
- COOK, R.L., BINKLEY, D., STAPE, J. L., 2016. Eucalyptus plantation effects on soil carbon after 20 years and three rotations in Brazil. *Forest Ecology and Management*. 359, 92-98.
- DHALIWAL, H., BROWNE, M., FLANAGAN, W., LAURIN, L., HAMILTON, M., 2014. A life cycle assessment of packaging options for contrast media delivery: comparing polymer bottle vs. glass bottle. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 19, 12, 1965-1973.
- FORLIN, F.J., FARIA, J.A.F., 2002. Considerações Sobre a Reciclagem de Embalagens Plásticas. *Polímeros Ciência e Tecnologia*. 12, 1-10.
- GROOT, W.J., BORÉN, T., 2010. Life cycle assessment of the manufacture of lactide and PLA biopolymers from sugarcane in Thailand. *The International Journal of Life cycle assessment*. 15, 970-984.
- GUO, F.; LO, K.; TONG, L., 2016. Eco-Efficiency Analysis of Industrial Systems in the Songhua River Basin: A Decomposition Model Approach. *Sustainability*. 8, 1271.
- KHOO, H.H., TAN, R.B.H., CHNG, K.W.L., 2010. Environmental impacts of conventional plastic and bio-based carrier bags. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 15, 3, 284-293.
- KÜNKEL, A., BECKER, J., BÖRGER, L., HAMPRECHT, J., KOLTZENBURG, S., LOOS, R., SCHICK, M.B., SCHLEGEL, K., SINKEL, C., SKUPIN, G., YAMAMOTO, M., 2016. Polymers, Biodegradable. In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Editora Wiley – VCH Verlag GmbH & Co.
- MACEDO, J. R. N., ROSA, D. S., 2016. Valorization of Recycled LDPE by MMT Nanocomposite. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*. 10, 3, 346-351.
- MACEDO, J. R. N., ROSA, D. S., 2015. Effect of Fiber and Starch Incorporation in Biodegradation of PLA-TPS-Cotton Composites. *Key Engineering Materials (Online)*. 10, 54-62.
- NSF 2013. BASF's Eco-Efficiency Analysis Methodology - May 2013. <http://www.nsf.org/newsroom/basfs-eco-efficiency-analysis-methodology-may-2013> ou <https://www.basf.com/za/en/company/sustainability/management-and-instruments/quantifying-sustainability/eco-efficiency-analysis.html>. Acessado em Fevereiro/2017.



POKHREL, S., LACH, R., LE, H. H., WUTZLER, A., GRELLMANN, W., RADUSCH, H. J.; SAITER, J. M., 2016. Fabrication and Characterization of Completely Biodegradable Copolyester–Chitosan Blends: I. Spectroscopic and Thermal Characterization. In *Macromolecular Symposia*, 366, 1, 23-34.

QUEIROZ, G.C., GARCIA, E.E.C., 2011. Reciclagem de Sacolas Plásticas de Polietileno em Termos de Inventário de Ciclo de Vida. *Polímeros*. 20, 5.

REES, W.E., 1992. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out, *Environment and Urbanization*. 4, 2, 121-130.

RENOUF, M.A., PAGAN, R.J., WEGENER, M.K., 2011. Life cycle assessment of Australian sugarcane products with a focus on cane processing. *The International Journal of Life cycle assessment*. 16, 125-137.

SANTOS, T.R., DUARTE, A.C., 2015. A Critical Overview of the Analytical Approaches to the Occurrence, the Fate and the Behaviour of Microplastics in the Environment. *Trends in Analytical Chemistry*. 65, 47-53.

TABASI, R.Y., AJJI, A., 2015. Selective degradation of biodegradable blends in simulated laboratory composting. *Polymer Degradation and Stability*. 120, 435-442.

THOMASSEN, M.A., DALGAARD, R., HEIJUNGS, R., BOER, I., 2008. Attributional and consequential LCA of milk production. *The International Journal of Life cycle assessment*. 13, 339–349.

VIEIRA, R.D.S., CANAVEIRA, P., DA SIMÕES, A., DOMINGOS, T., 2010. Industrial hemp or eucalyptus paper. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 15, 4, 368.

WACKERNAGEL, M., 1994. *Ecological Footprint and Appropriated Carrying Capacity: A Tool for Planning Toward Sustainability*. Vancouver, Canada: School of Community and Regional Planning. The University of British Columbia.

WEILER, V., HARTE, H., EICKER, U., 2017. Life cycle assessment of buildings and city quarters comparing demolition and reconstruction with refurbishment. *Energy and Buildings*. 134, 319–328.