



ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DE SACOS PLÁSTICOS PRODUZIDOS POR RECICLAGEM: ESTUDO DE CASO EM SEROPÉDICA, RJ.

Gabriela Delgado Ibrahim (CEFET/RJ)

gabriela_ibrahim@uol.com.br

José Antonio Assunção Peixoto (CEFET/RJ)

joseapeixoto@uol.com.br

Leydervan de Souza Xavier (CEFET/RJ)

lsxavier@unisys.com.br

Dejair Pontes de Souza (UFRJ)

djsouza@pep.ufrj.br

Neste trabalho, resultado parcial de uma dissertação de mestrado ainda em andamento, procura-se apresentar uma ferramenta, a Análise de Ciclo de Vida (ACV), como exemplo de recurso técnico para a prática cotidiana da engenharia de produção voltada para o desenvolvimento sustentável. O ambiente empírico escolhido é uma planta industrial completa destinada à produção de sacos plásticos de polietileno de baixa densidade, podendo ser utilizada matéria prima virgem ou proveniente de reciclagem. O modelo em desenvolvimento utiliza o software UMBERTO para representação dos fluxos de produção envolvendo os diversos equipamentos e respectivas variáveis de processo típicas do interesse da engenharia de produção. O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados parciais de um modelo de ACV que considera os limites físicos da fábrica como fronteiras do processo de produção através de uma cadeia fechada. O recorte utilizado começa com a matéria prima dentro da fábrica, excluindo-se todo o processo de transporte, acondicionamento anterior, pessoas envolvidas, possíveis impactos nesses processos, entre outros. Nos resultados apresentados não foram incluídos os valores das grandezas já obtidos porque são resultados parciais que não permitem consolidar os balanços energéticos só alcançáveis na fase final da ACV. As variáveis econômicas, ambientais e sociais ainda não contempladas nesta etapa da pesquisa serão analisadas em etapas posteriores. A representação desenvolvida serve de base para o refinamento do modelo para a planta em estudo e para outras que utilizem processos produtivos semelhantes, como de fato ocorre em escala significativa. Embora a ACV, em essência, se baseie na teoria de sistemas, que é bastante familiar aos engenheiros em geral, ainda parece pouco conhecida e difundida na prática destes profissionais no país. Desta

forma, pretende-se que este artigo também possa contribuir com os vários esforços existentes para construção deste conhecimento no país.

Palavras-chaves: Avaliação de Ciclo de Vida, Modelagem ACV, Plástico, UMBERTO.

1. Introdução

O modelo de desenvolvimento econômico preponderante após a segunda guerra mundial, baseado na produção intensiva de bens de consumo, resultou no aumento da demanda por recursos naturais, especialmente o uso de energia não renovável como o petróleo e implicou no despejo crescente dos resíduos de produção no meio ambiente. A degradação ambiental e os conflitos sociais no contexto da distribuição heterogênea de renda, gradativamente, foram incorporados às discussões estratégicas dos organismos internacionais de referência, destacando-se, como marco inicial para a incorporação da questão ambiental no debate sobre o desenvolvimento das nações, a primeira Conferência da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre o Meio Ambiente Humano realizada em Estocolmo em 1972. Segundo Feldman (1997, p. 14) “essa conferência chamou a atenção das nações para o fato de que a ação humana estava causando séria degradação da natureza e criando severos riscos para o bem estar e para a própria sobrevivência humana”. Este evento foi a primeira iniciativa global visando identificar os impactos da ação do homem sobre o meio ambiente, bem como propor a adoção de um modelo de desenvolvimento que respeitasse a capacidade de renovação dos ecossistemas em substituição ao modelo fundamentado apenas no crescimento econômico. A evolução para a construção deste novo paradigma deu origem ao termo desenvolvimento sustentável cuja definição mais conhecida é aquela constante do Relatório de Brundtland, em 1987, na qual descreve que o desenvolvimento de cada nação deve ser orientado no sentido de que se atenda as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de que as gerações futuras atendam à suas próprias (MARTINS, 2006). A aceleração da obsolescência dos produtos e a diversificação da produção em geral, reduziram o tempo de utilização destes, caracterizado como ciclo de vida (tempo entre a produção e o descarte), provocando o aumento da velocidade logística e gerando impactos diretos sobre o meio ambiente, quer pela exploração de recursos, quer pela acumulação de resíduos. Por outro lado, autores como Braga et al (2006) questionam se à taxa de crescimento populacional se aproxima de 1,13% ao ano, os recursos naturais da Terra serão suficientes para sustentar o contingente populacional nos moldes de consumo atuais. Para estes autores, a engenharia foi a responsável pela oferta de alimentos, aumento do conforto, saúde e longevidade do ser humano, através das tecnologias de construção civil, geração de energia, transportes, comunicação, saneamento, biomédicas, agronômicas, entre outras. Porém, apesar desses benefícios, o crescimento populacional foi muito expressivo, e a urbanização e o desconhecimento científico de seus problemas contribuíram para a degradação ambiental em grande escala. Assim, surge, para os engenheiros, um novo desafio, que é o de utilizar as tecnologias e criar novas com a intenção de minimizar os impactos ambientais, já que nem sempre as práticas da engenharia levaram em consideração o ponto de vista do meio-ambiente. Esse desafio consiste em encontrar o ponto de equilíbrio, onde seja possível aumentar o conforto individual e diminuir os impactos ambientais negativos.

O desenvolvimento sustentável avança ideologicamente na sociedade contemporânea, como se pode perceber pelo crescimento de iniciativas as mais diversas na construção de uma nova cultura de consciência ecológica. Se no plano conceitual não parece haver dúvidas do crescimento dessa iniciativa, no plano operacional há uma evidente inércia dos sistemas de produção e de gestão e dos conhecimentos técnico-científicos disponíveis para que o paradigma do desenvolvimento sustentável se materialize no cotidiano da maior parte da sociedade. Os engenheiros das mais diversas formações não dispõem, em geral, de elementos técnicos para incorporar às suas práticas uma conduta de desenvolvimento sustentável, ainda

que estejam comprometidos pessoalmente com este conceito. Por outro lado, os futuros engenheiros continuam sendo formados com orientações ao projeto, desenvolvimento e operação de produtos e de sistemas sem que haja uma alteração significativa das tecnologias aprendidas no que se refere ao novo paradigma. Para Braga et al (2006), os cursos de engenharia ainda não estão preparados para formar profissionais com o perfil de um técnico, que deve ser competente, comunicativo, e saber associar a viabilidade econômica e técnica de um projeto com sua viabilidade ambiental.

Neste trabalho, resultado parcial de uma dissertação de mestrado ainda em andamento no CEFET/RJ, procura-se apresentar uma ferramenta, a Análise de Ciclo de Vida (ACV), como exemplo de recurso técnico para a prática cotidiana da engenharia de produção voltada para o desenvolvimento sustentável. O ambiente empírico escolhido é uma planta industrial completa destinada à produção de sacos plásticos de polietileno de baixa densidade, podendo ser utilizada matéria prima virgem ou proveniente de reciclagem.

O modelo em desenvolvimento utiliza o software UMBERTO para representação dos fluxos de produção envolvendo os diversos equipamentos e respectivas variáveis de processo típicas do interesse da engenharia de produção.

A realização da ACV de um produto representa uma grande responsabilidade, e a dificuldade de obtenção de dados com precisão pode gerar uma série de diferenças entre estudos de empresas com foco no mesmo produto, o que não quer dizer que o estudo seja inválido, ou incorreto. Segundo Filho e Zimmerman (2002), é necessário padronizar os vários critérios utilizados, como o escopo do projeto, os detalhes na coleta das informações e a forma de especificação dos cálculos dos processos realizados pelo software utilizado. Para esses autores, há uma grande necessidade de gerar um banco de dados nacional para a realização desse tipo de estudo.

Por outro lado, a contabilização ambiental, que procura identificar o que se retira da natureza em termos de matérias-primas e energia, e o que se devolve para ela, avaliando os impactos potenciais, provocados pelas entradas e saídas do sistema em questão dificilmente poderão ser fielmente avaliados em um primeiro e único estudo. De acordo com Bernardes (2006), uma ACV simplificada pode tornar-se uma ACV completa, enriquecida com a entrada de mais e mais dados. Por isso, não se considera esgotada e definitiva uma análise de ciclo de vida baseada em um primeiro e único estudo. Entretanto, é necessário um primeiro passo para que este importante estudo possa tomar a forma que se deseja obter, quando se tornará realmente relevante para a melhoria ambiental.

No caso do saco plástico, este tipo de estudo torna-se fundamental para que se obtenha conhecimento sobre seus impactos e que se desenvolvam alternativas viáveis e sustentáveis para atenuá-los e melhorar a eficiência de seu processo de produção, pois existe pouca bibliografia sobre esse produto tão importante economicamente, e que está em uma fase de plena expansão no mercado.

O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados parciais de um modelo de ACV que considera os limites físicos da fábrica como fronteiras do processo de produção através de uma cadeia fechada. A representação desenvolvida serve de base para o refinamento do modelo para a planta em estudo e para outras que utilizem processos produtivos semelhantes, como de fato ocorre em escala significativa.

Embora a ACV, em essência, se baseie na teoria de sistemas, que é bastante familiar aos engenheiros em geral, ainda parece pouco conhecida e difundida na prática destes

profissionais no país. Desta forma, pretende-se que este artigo também possa contribuir com os vários esforços existentes para construção deste conhecimento no país.

2. O Conceito Ciclo de Vida

O ciclo de vida de é a história do produto, desde a fase de extração das matérias primas, passando pela fase de produção, distribuição, consumo, uso e até sua transformação em lixo ou resíduo. A avaliação do ciclo de vida leva em conta as etapas “do berço à cova” ou considerando-se o aproveitamento do produto após o uso, do “berço ao berço”, como por exemplo, está indicado na figura 1.a. O ciclo de vida pode ser caracterizado através de estágios ou etapas em que ocorrem processos diferentes. Na figura 1.b estão representados os cinco estágios de ciclo de vida de um determinado produto: extração de recursos naturais (1), a transformação de nas indústrias (2), acondicionamento e expedição (3), a utilização pelo consumidor (4), descarte ou revisão do prooduto já obsoleto ou defeituoso (5).

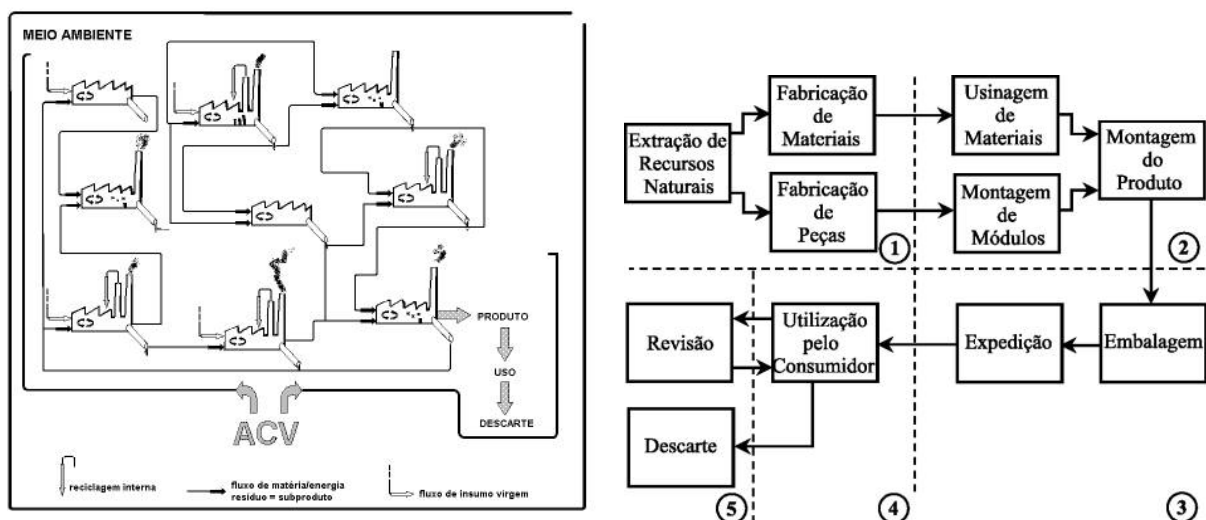


Figura 1 (Ribeiro, Gianneti e Almeida, 2007) a) Esquema de uma Eco-rede, mostrando a otimização dos fluxos de materiais/energia devida à formação da rede. b) Os cinco estágios do ciclo de vida de um produto específico.

Cada estágio pode ser caracterizado por um conjunto de variáveis como as emissões que ocorrem e a quantidade de energia e matérias primas utilizadas. Considerando-se o conjunto dos ciclos, ou a vida do produto, pode-se pensar em um balanço de massa e energia em que todos os fluxos de entrada devem corresponder a um fluxo de saída quantificada como produto, resíduo ou emissão. O inventário destas grandezas leva ao conhecimento detalhado do processo de produção. Com isto, pode-se identificar pontos de produção de resíduos e sua destinação, as quantidades de material que circulam no sistema e as quantidades que deixam o sistema, determinar a poluição associada a uma unidade do sistema e identificar pontos críticos de desperdício de matéria prima ou de produção de resíduos (Ribeiro, Gianneti e Almeida, 2007). Por outro lado, este inventário, por si só, permite a tomada de decisões sobre os investimentos necessários em determinadas partes do processo e a análise técnica para a escolha de soluções para os problemas determinados (reciclagem, reutilização, mudança de processo ou parte dele).

O ciclo de vida pode envolver um conjunto de estágios bem extenso, com a interação de diversos agentes agindo isolada ou interativamente em cada um deles. Na figura 2 está indicada outra forma de representação utilizada pela agência de proteção ambiental dos EUA – (US)EPA, em que aparece a fronteira do sistema sendo analisado.

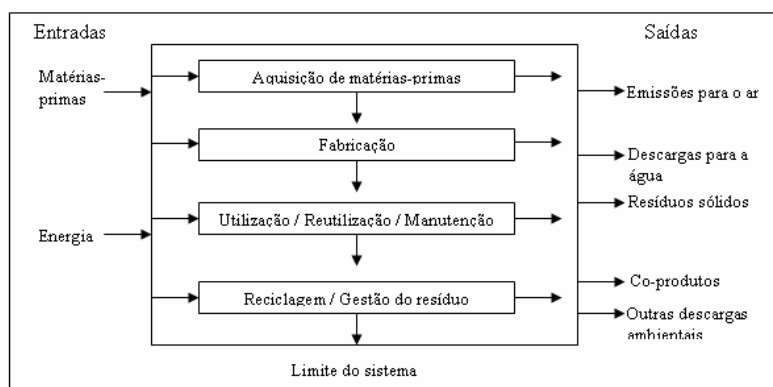


Figura 2 – Estágios do ciclo de vida do produto (Fonte: USEPA 2001)

2. A Avaliação de Ciclo de Vida

A avaliação do Ciclo de Vida - ACV (Life Cycle Assessment - LCA) é uma metodologia utilizada para avaliar o impacto ambiental de bens e serviços. Consiste em uma avaliação sistemática que permite quantificar os fluxos de energia e de materiais no ciclo de vida do produto. Segundo a EPA (Environmental Protection Agency, dos Estados Unidos), a ACV é “uma ferramenta para avaliar, de forma holística, um produto ou uma atividade durante todo seu ciclo de vida”. Segundo Bernardes (2006), devido a relações cada vez mais complexas das empresas com o meio ambiente, a Avaliação do Ciclo de Vida surge como uma ferramenta que possui justamente a capacidade de lidar com essas complexidades, de maneira eficiente, por descrever e avaliar os fluxos de material e energia retirados da natureza e depois retornados a ela. Essa ferramenta, constantemente aperfeiçoada e atualmente padronizada pela série de normas ISO 14040 (Cajazeira, Barbieri, 2004), tem o objetivo de realizar a avaliação de aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto ou serviço. Porém, a maior evolução está na forma como seus resultados são utilizados na gestão empresarial, já que é uma poderosa ferramenta para gerar e interpretar dados ambientais, que proporcionam uma indicação da direção que a empresa deve seguir para melhorar sua produção, gestão, design, etc.

O estudo da análise do ciclo de vida se divide, segundo a ISO14040, nas fases representadas na figura 3:

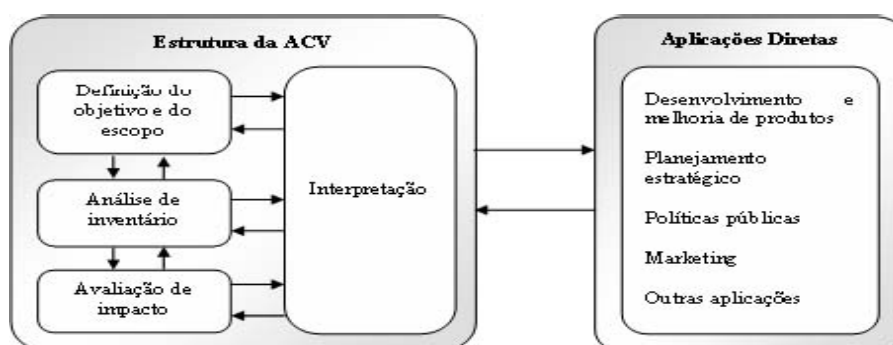


Figura 3 – Fases de uma ACV (Fonte: ISO 14040:1997)

Definição do objetivo e do escopo: nessa fase, deve-se definir e descrever o produto ou processo, estabelecer o contexto das avaliações e identificar os limites (fronteiras) e efeitos ambientais que serão revistos por esta avaliação, quais são as razões para a condução desse estudo, que decisões serão tomadas com o resultado obtido, as aplicações (internas e externas à empresa), nível de detalhamento das informações necessárias e metodologia de coleta de dados, abrangência geográfica do estudo, as unidades funcionais (massa, volume, etc).

Inventário: quantifica a energia, materiais e água utilizados no sistema analisado, e as liberações ambientais, como as emissões para o ar, resíduos sólidos e líquidos, entre outros. É nessa fase que ocorre a coleta de dados, e a quantificação das variáveis envolvidas no estudo.

Análise dos impactos ambientais: é o momento de identificar os efeitos humanos e ecológicos da utilização da água, energia, e materiais, classificando os dados do inventário de acordo com os impactos ambientais já conhecidos.

Interpretação: avaliação dos resultados, permitindo identificar e escolher os melhores processos e produtos, ou formas de melhorá-los.

Segundo Ferreira (2004), o método possui algumas limitações, como a dificuldade na coleta de dados, que devem ser bastante detalhados; o tempo longo de levantamento e análise das informações; e a necessidade de outras ferramentas para possibilitar um completo processo de tomada de decisão, pois não realiza avaliações de custo e performance.

3. O uso do software UMBERTO

O software UMBERTO, por ter sido desenvolvido pelo IfEU (Instituto de Pesquisa Ambiental e Enérgica da Universidade de Heidelberg) e pelo IfU (Instituto de Informática Ambiental da Universidade de Hamburgo) é apropriado ao ambiente de pesquisa científica, sendo este dos requisitos para sua escolha. Com o programa é possível realizar uma análise de fluxo de materiais e energia, através de suas redes de fluxo, viabilizando a análise tanto de aspectos ambientais (uma visão do intercâmbio do sistema com o meio ambiente) como de aspectos financeiros (custos) de todas as atividades componentes do sistema. As funcionalidades do UMBERTO se baseiam nas redes de Petri para (as redes de) fluxos de materiais, que são formadas por lugares (ou places), transições (transitions) e setas (arrows). Com isto pode-se utilizar o programa para modelar sistemas do tipo fábricas, ou linhas de produção. É necessário levantar dados detalhados sobre o processo, como todos os tipos de materiais e suas quantidades. É importante também descrever a relação entre as quantidades de entrada e saída, pois somente com essas informações levantadas de forma precisa, será possível calcular

com o software o balanço das grandezas envolvidas no processo modelado. Após o lançamento e configuração de todas as transições e seus materiais, dos fluxos da rede, gera-se com o software um balanço geral, apresentado em forma de planilha, para a realização de comparações e análises. Também é possível elaborar gráficos para melhor visualização desses resultados. Também é analisar os resultados por produto, por material, levando em consideração a distribuição de recursos, e a análise de custos, relacionada com esses produtos. Pod-se realizar uma análise de fluxo de materiais e energia, através de redes de fluxo, contemplando tanto aspectos ambientais (uma visão do intercâmbio do sistema com o meio ambiente) como aspectos financeiros (custos) de todas as atividades componentes do sistema.

Para o caso em estudo o UMBERTO está sendo utilizado para auxiliar na elaboração das redes de fluxo, na criação e comparação de cenários para otimização técnica dos processos, baseada na descoberta de pontos que necessitem e que possibilitem otimização, redução de recursos materiais, de energia, reaproveitamento de resíduos do processo e redução dos que forem poluentes e prejudiciais ao meio ambiente e na geração automática e comparação dos balanços dos aspectos ambientais que se deseja avaliar. Como consequência disso, pretende-se obter redução de custos e de impacto ambiental e aumento da lucratividade da empresa.

5. O estudo de caso

O estudo de caso é uma forma de pesquisa que tem o objetivo de investigar um fenômeno atual, no seu contexto da vida real, permitindo a análise de consequências e a busca de melhorias. O caso trata de duas empresas coligadas, situadas na cidade de Seropédica – RJ e, especializadas na reciclagem e produção de sacos plásticos em geral, respectivamente. As empresas geram cerca de 100 empregos diretos, uma média de 50 em cada uma das fábricas. Os funcionários recebem treinamento para reconhecer os diferentes tipos de plástico para realizar a separação, que precisa ser bem feita para garantir a qualidade do produto final e para evitar danos ao maquinário. Quase 100% dos produtos reciclados têm a finalidade de atender à demanda requerida pela empresa que produz sacos. A produção pode ser a partir de material virgem (cerca de 10%, ou menos) ou de material reciclado (cerca de 90%, ou mais), de acordo com a necessidade e solicitação do cliente. A empresa de reciclagem compra material descartado (lixo selecionado) de empresas especializadas na coleta e separação desse tipo de material, excluindo os que contenham lixo orgânico e hospitalar. A empresa também é uma receptadora de materiais vindos da Volkswagen do Brasil, que para estar de acordo com a legislação ambiental, realiza na fábrica de reciclagem uma vistoria anual, como condição para continuar vendendo a esta, seus resíduos plásticos.

Para a elaboração da análise do ciclo de vida do saco plástico através dos processos dessas empresas, foi realizada inicialmente a coleta de dados através de visitas técnicas e entrevistas com o gerente operacional da fábrica de reciclagem. Também foi utilizado um formulário para registro de dados técnicos referentes às variáveis de processo. O recorte utilizado para a elaboração do estudo foi começar com a matéria prima dentro da fábrica, excluindo-se todo o processo de transporte, acondicionamento anterior, pessoas envolvidas, possíveis impactos nesses processos, entre outros. O limite final do estudo é a mercadoria (o saco plástico) pronto e embalado, excluindo-se do estudo sua venda, distribuição, uso e descarte, e os possíveis impactos causados por esses processos. Nos resultados apresentados não foram incluídos os valores das grandezas já obtidos porque são resultados parciais que não permitem consolidar os balanços energéticos só alcançáveis na fase final da ACV. As variáveis econômicas, ambientais e sociais ainda não contempladas nesta etapa da pesquisa serão analisadas em

etapas posteriores. Dessa forma, pode-se representar o objeto de estudo nas fronteiras de sistema indicadas na figura 4:

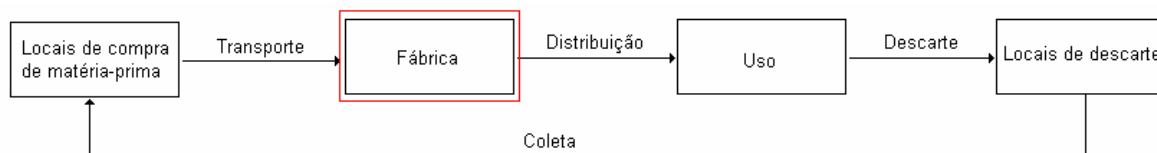


Figura 4 – Delimitação do estudo

O quadro destacado Fábrica divide-se em dois macro-processos estudados: a reciclagem do material comprado, gerando o grão reciclado como matéria prima para a produção do saco plástico, e a utilização desse grão produzido e sua transformação em saco plástico. O processo de reciclagem segue uma rota utilizada por muitas empresas do ramo. A reciclagem é do tipo mecânica, na qual os resíduos plásticos são transformados em grãos, que servem de matéria prima para novos produtos. Esses grãos são obtidos através de processos físicos. Na figura 4 está representada esta forma de reciclagem. A reciclagem mecânica é a mais utilizada no Brasil segundo informações obtidas no site da Plastivida por ser a mais barata e permitir manter-se a qualidade do produto na dependência direta da qualidade do material que será reciclado. Na figura 5, está indicado o processo de reciclagem e, na figura 6, o de produção de sacos plásticos.

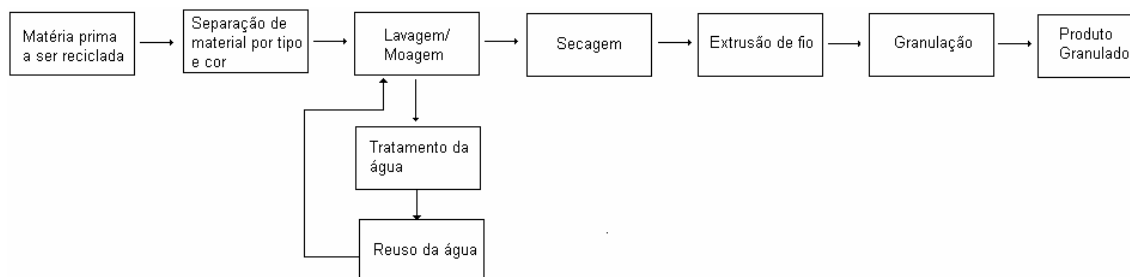


Figura 5 – Macro processo 01 - Reciclagem

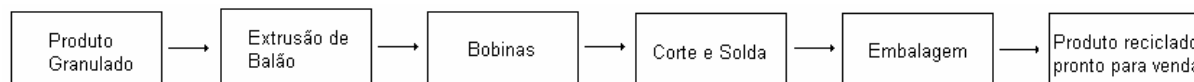


Figura 6 – Macro processo 02 – Produção do saco plástico

Os processos da empresa a partir do ponto inicial definido foram mapeados e lançados no software UMBERTO para a posterior geração de balanços ambientais. Para o cálculo destes balanços são necessárias informações precisas sobre, por exemplo, consumo de energia, de água, a quantidade de matéria prima transformada em cada etapa, e quaisquer outros produtos que sejam necessários para realizar o processo até a obtenção do produto final. Na figura 7 estão representados os resultados do modelo gerados pelo UMBERTO.

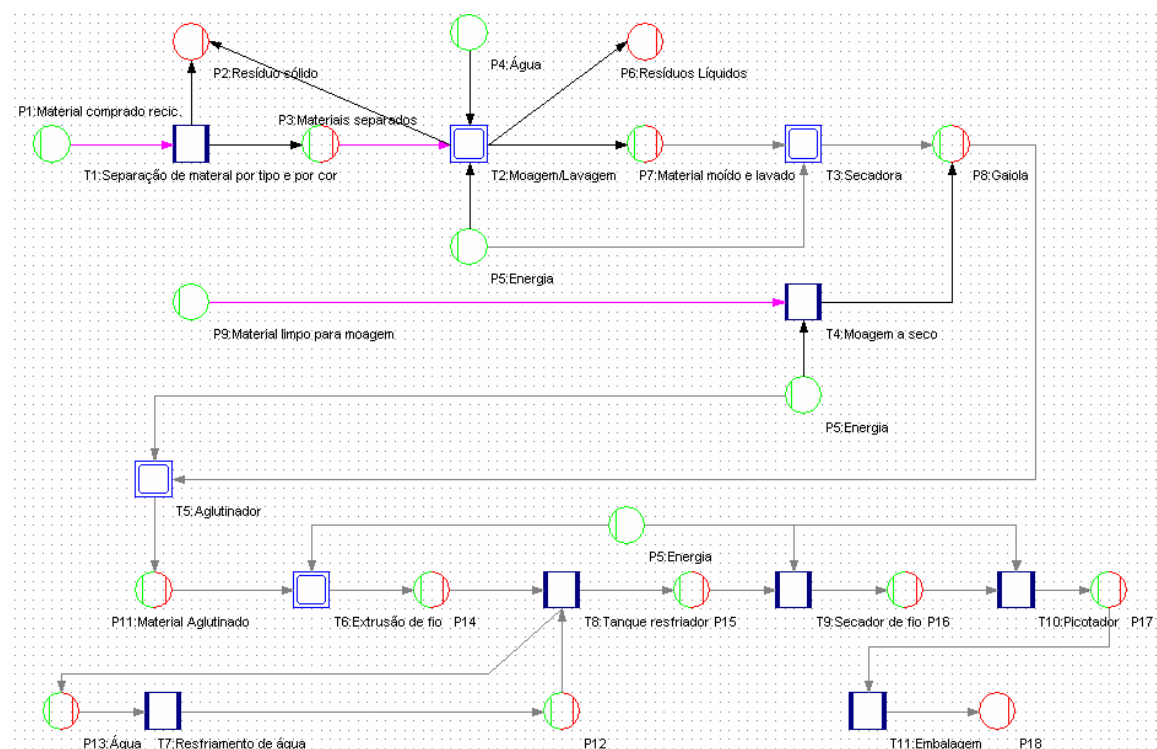


Figura 7 – Rede principal da Reciclagem – UMBERTO

6. Considerações finais

O modelo de ACV apresentando foi simplificado em relação ao da pesquisa que o originou em dois aspectos: primeiro, na delimitação do sistema em que ocorrem os processos, escolhendo-se a planta das duas fábricas e, segundo, na representação dos fluxos de processo através do UMBERTO sem a inclusão dos valores numéricos e dos respectivos balanços. O modelo mais refinado deverá contemplar os estágios anteriores e posteriores do ciclo de vida do saco plástico, assim como o conjunto das variáveis econômicas e ambientais de interesse.

Os resultados descritos são parciais e podem ser utilizados objetivamente para o refinamento da ACV do saco plástico de polietileno de baixa densidade. O processo modelado é encontrado em diversas empresas, inclusive com a utilização dos mesmos equipamentos e configuração de produção, o que permite seu aproveitamento parcial para outras avaliações. A concepção de sistema empregado é familiar aos engenheiros e educadores que podem identificar nesta metodologia naturais pontos de contato com suas práticas profissionais na produção e na academia. O UMBERTO é encontrado nesses dois ambientes e se mostrou adequado ao trabalho proposto. Os gestores das empresas foram solícitos e franquearam as instalações para o inventário, declarando identificar na parceria com uma instituição de pesquisa e educação tecnológica resultados promissores para as empresas e refletindo uma consciência ambiental superior a todas as expectativas.

O campo de trabalho da ACV se apresenta amplo e árduo, na ausência de inventários nacionais com as informações indispensáveis. Por outro lado, as peculiaridades locais são muito relevantes e individualizam, na prática, as avaliações de processos, mesmo quando estes já foram mapeados em outras condições. No ambiente atual de integração de normas e de sistemas de gestão as interfaces entre os modelos de ACV e os demais sistemas de gestão

parecem um caminho natural. Deste modo pode-se concluir que o desenvolvimento científico e tecnológico destas metodologias e a formação e qualificação profissional precisam de atenção por serem ainda muito insipientes no mundo e no Brasil, integrando um ramo do conhecimento que ainda é muito jovem.

Referências

BRAGA, B., HESPANHOL, I., CONEJO, J. G. L., MIERZWA, J.C., de BARROS, M.T.L. SPENCER, M., PORTO, M., NUCCI, N., JULIANO, N., EIGER, S. *Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável*. ed. Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2006.

BERNARDES, M. A. S. *Breve introdução à metodologia Avaliação do Ciclo de Vida*. CEFET MG. Belo Horizonte, 2006.

CAJAZEIRA, J., BARBIERI, J. *A nova Norma ISO 14.001: Atendendo à Demanda das Partes Interessadas*. Fundação Getúlio Vargas. 2004.

RIBEIRO, C.M., GIANNETI, B. F. e ALMEIDA, C.M.V.B. *Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): Uma Ferramenta Importante da Ecologia Industrial*. Disponível em <http://www.hottopos.com/index.html>. Editora Mandruvá. Acesso em 30 de Abr 2007.

FELDMAN, F. *Entendendo o meio ambiente*. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. São Paulo: SMA, 1997.

FERREIRA, C. *Logística Reversa: Aspectos Importantes para a Administração de Empresas*. Disponível em <http://www.guiadelogistica.com.br/ARTIGO402.htm>. Acesso em 13 de Out 2006.

FERREIRA, J. V. R. *Análise de Ciclo de Vida dos Produtos*. Gestão Ambiental. Instituto Politécnico de Viseu. 2004.

MARTINS, A.R.P. *Desenvolvimento Sustentável: uma análise das limitações do índice de desenvolvimento humano para refletir a sustentabilidade ambiental*. Rio de Janeiro, 2006, 127 f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Produção, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

UMBERTO – *A software tool for Life Cycle Assessment and Material Flow Analysis* – User Manual. Institut für Umweltinformatik: Hamburg; Institut für Energie und Umweltforschung: Heidelberg, 1998.