

©Copyright, 2006. Todos os direitos são reservados. Será permitida a reprodução integral ou parcial dos artigos, ocasião em que deverá ser observada a obrigatoriedade de indicação da propriedade dos seus direitos autorais pela INTERFACEHS, com a citação completa da fonte. Em caso de dúvidas, consulte a secretaria: interfacehs@interfacehs.com.br

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA: FERRAMENTA GERENCIAL PARA TOMADA DE DECISÃO

Emilia Satoshi Miyamaru Seo¹; Luiz Alexandre Kulay²

¹Professora do Centro Universitário Senac e pesquisadora do IPEN/CNEN-SP; ²Professor do Centro Universitário Senac e pesquisador do Grupo de Prevenção da Poluição GP2 da EPUSP.

RESUMO

Ao conscientizar-se de que o consumo de bens manufaturados e o fornecimento de serviços afetam de maneira adversa o suprimento de recursos naturais e a qualidade do meio ambiente, o mercado consumidor passou a questionar firmemente o modelo desenvolvimentista, típico da forma de atuação do meio empresarial nos anos de 1970, no tocante à sua validade como solução absoluta na busca pela satisfação das necessidades de consumo. Por conta disso, muitas corporações se viram obrigadas a promover alterações de conduta no sentido de reduzir impactos negativos decorrentes de suas atividades. Dada a comoção social, antes de ampliar o âmbito de abrangência dos negócios, essas ações visavam garantir a manutenção das posições de mercado já conquistadas. Em primeira instância, foram tomadas apenas medidas de controle, ditas de cunho reativo, por tão somente reduzir os efeitos adversos provocados pela ação antrópica sobre o ambiente. Ao dar-se conta de que essa temática não garantia a legitimidade do conceito de Desenvolvimento Sustentado o homem moderno tratou então de buscar práticas novas e mais auspiciosas, agora de caráter pró-ativo, para alcançar – ou ao menos, se aproximar – da condição deflagrada por este paradigma. Essa noção fez nascer os conceitos Gestão Ambiental e Prevenção da Poluição, e com eles, um cabedal de conceitos, técnicas, e procedimentos metodológicos condizentes com uma postura ambiental moderna e adequada aos tempos atuais. Dada a amplitude de abordagem, sistêmica por essência, e o grau de aprofundamento quanto à avaliação das inter-relações entre o meio ambiente e os sistemas humanos, merece destaque no contexto presente a técnica de Avaliação do Ciclo de Vida – ACV. O objetivo deste estudo é discorrer a respeito da ACV, seus elementos intrínsecos, conteúdos técnicos, usos e limitações, assim como sua aplicação nos contextos de gestão ambiental e da prevenção da poluição.

Palavras-chave: Análise de Ciclo de Vida; ACV; Gestão Ambiental; Prevenção da Poluição; Meio Ambiente

INTRODUÇÃO

A postura da sociedade quanto à importância de preservação da natureza vem produzindo efeitos sobre a forma de atuação dos setores produtivos no tocante à matéria ao longo das últimas quatro décadas. Ao tomar consciência, nos idos da década de 1960, de que o consumo de produtos manufaturados e o fornecimento de serviços afetam adversamente o suprimento de recursos naturais e a qualidade do meio ambiente, o mercado consumidor passou a questionar firmemente o modelo desenvolvimentista e sua validade como solução absoluta na busca pela satisfação das necessidades de consumo do homem moderno.

Por conta disso, o meio empresarial foi obrigado a promover sucessivas alterações de conduta, no sentido de reduzir os efeitos ambientais adversos provocados por suas atividades; essas ações tinham por objetivo, antes de absorver novos nichos de mercado, garantir a manutenção das posições já conquistadas.

Em uma fase inicial, típica da década de 1970, as empresas se decidiram por tratar a matéria ambiental de forma reativa, ou seja, mediante a implantação de ações de controle ambiental. Essa fase é marcada por uma ação do Estado, que, por meio do poder de polícia, passa a regular o exercício das atividades pelas organizações buscando com isso limitar os impactos ambientais por elas causados.

A noção de que a preservação da natureza pode reduzir despesas operacionais leva as corporações a uma evolução de atitude em termos de administração de negócios. Assim, a segunda metade anos de 1980 assiste a mais uma alteração de conduta, esta de cunho pró-ativo quanto à ocorrência dos impactos, caracterizada pela adoção de ações de prevenção. Em outras palavras, ao invés de tratar os rejeitos gerados pelas atividades de transformação com o intuito de atender tão-somente aos padrões legais estabelecidos, busca-se, segundo esse enfoque, a não geração de rejeitos ou, pelo menos, sua não disposição no ambiente, por meio de diferentes formas de seu reaproveitamento. Tal perspectiva cria um cenário bastante profícuo à implementação de técnicas que corroboram o mesmo espírito, tais como os Estudos de Impacto Ambiental, Sistemas de Gestão Ambiental, Programas de Prevenção da Poluição, Avaliações de Riscos Ambientais, entre outros.

A percepção de que o uso de ações de controle e prevenção sobre a cadeia produtiva de determinado produto constitui condição necessária, mas não suficiente, à perpetuação do conceito de desenvolvimento sustentado induz uma reorientação da forma como as ações de

cunho ambiental devem ser conduzidas, sobretudo no que se refere a aspectos de pós-produção. A título de preencher tal lacuna, bem como auxiliar o processo gerencial de tomada de decisão, ganha força dentro desse cenário uma ferramenta de cunho sistêmico quanto à extensão de seu domínio de aplicação denominada Avaliação de Ciclo de Vida.

Ante essas considerações, o objetivo do presente trabalho é apresentar a importância da metodologia supramencionada nos contextos de gestão ambiental e da prevenção da poluição.

CONCEITO DE CICLO DE VIDA

A implementação de medidas de controle e prevenção tem constituído fator decisivo para o aumento do desempenho ambiental das organizações, do que decorre, por correlação biunívoca, a melhoria da condição ambiental do planeta, manifestada por meio do refreamento da velocidade de degradação do mesmo.

No entanto, pelo fato de considerarem em seu escopo de abordagem tão-somente os limites de bateria de unidades individualizadas da organização, essas ações são usualmente referidas como *foco sobre o processo* (SILVA, 2003).

A reflexão da sociedade em relação à atitude preventiva trouxe a conscientização de um aspecto ligado ao desenvolvimento sustentável. Rejeitos materiais e energéticos são gerados a partir do consumo e da transformação de recursos naturais em bens e serviços. Assim, prevenir a disposição de rejeitos significa não apenas reduzir níveis de poluição – entendida como lançamento no ambiente dos rejeitos gerados por atividades antrópicas – como também minimizar consumo de recursos naturais materiais e energéticos. Além disso, lembrando que o manuseio de recursos, como o tratamento e a disposição de rejeitos, implicam custos para qualquer organização, a redução das perdas do processo produtivo se traduz em economia de fundos, o que, tratado pela ótica do balanço econômico, pode ser entendido como aumento de lucro.

A evolução dessa linha de pensamento se fez, entretanto, cada vez mais evidente, tanto que mesmo a abordagem preventiva da questão ambiental carecia de uma ampliação de fronteiras para atender às necessidades da sociedade em relação ao desenvolvimento sustentável. Tanto isso é verdade que o fenômeno da globalização aponta para uma abordagem que amplie o foco de sua atuação para além dos limites de bateria de cada

unidade da organização. Aqui está talvez a origem da “filosofia do ciclo de vida” ou, como batizado na língua inglesa, Life Cycle Thinking (LCT) (SONNEMAN, 2002).

Para, Sonneman (ibid.), o LCT pode ser entendido como a consciência de que o bom desempenho ambiental de uma unidade isolada da cadeia produtiva não é suficiente para garantir que a mesma tenha sua sustentabilidade garantida; essa condição será atingida apenas se a totalidade dos elos dessa cadeia apresentarem desempenho ambiental adequado. Nunca é demais enfatizar que a avaliação do desempenho ambiental de um produto, processo ou serviço leva em conta não apenas a disposição de rejeitos como também o consumo de recursos naturais.

Silva e Kulay (2003) apregoam que o LCT, a avaliação do desempenho ambiental, deve passar a ser feita de forma sistêmica, abrangendo todas as atividades capazes de impactar potencialmente ao meio ambiente, envolvidas na manufatura do produto. São, portanto, objeto dessa abordagem todas as atividades compreendidas desde a obtenção dos recursos naturais até a fabricação propriamente do produto, ao final de toda a sua cadeia produtiva. Esse escopo de aplicação é denominado *foco sobre o produto*.

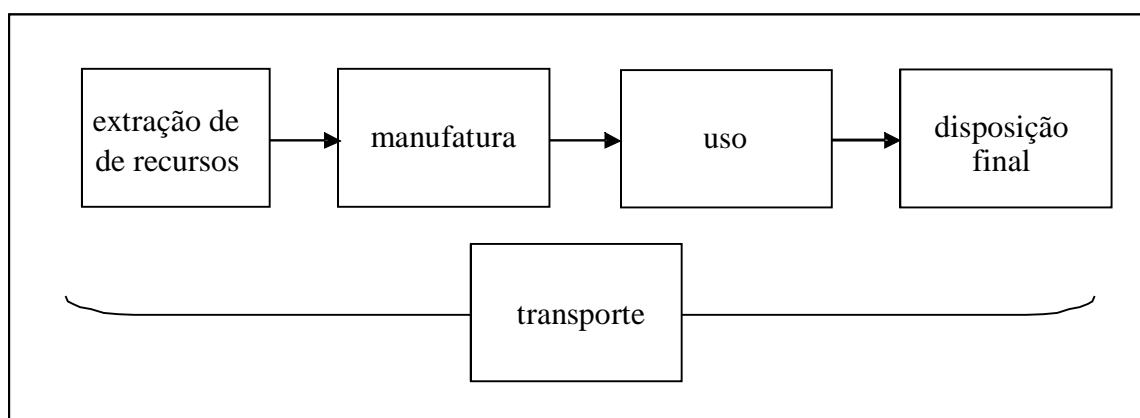
A observação crítica dos modelos de produção leva a observar que a manufatura de qualquer produto não é, em si, um fim, mas um meio de atender à necessidade ou desejo da sociedade; ou seja, os produtos são manufaturados para cumprir uma função. Isso implica que o seu potencial de impacto ao meio ambiente não se esgota ao final de sua cadeia produtiva. Ao contrário: o caminho percorrido até que se dê o cumprimento de sua função; a atividade em si; seu destino logo após a função haver se esgotado – seja sua disposição final no meio ambiente, seja alguma forma de reaproveitamento – são atividades que podem impor, igualmente, impactos ambientais bastante significativos. Assim sendo, não há motivo para que tais efeitos potenciais deixem de ser considerados para a avaliação do desempenho ambiental do produto.

Uma avaliação do ônus imposto ao meio ambiente como decorrência da satisfação de certa necessidade humana por meio da manufatura de um produto será criteriosa e consistente apenas se forem consideradas todas as etapas do ciclo de vida desse bem; isso se obtém a partir da instalação do *foco* abordagem da análise *sobre o exercício da função pelo produto* (SILVA, 2003).

Assim sendo, o conceito de *ciclo de vida* pode ser entendido como conjunto de etapas necessárias para que um produto cumpra sua função, compreendido desde a obtenção dos recursos naturais até sua disposição final, logo após haver se esgotado o cumprimento da função. Dentro desse espectro estão, portanto, contempladas atividades tais como manufatura, distribuição, uso e reaproveitamento pós-uso do produto (VIGON, 1993).

A Figura 1 apresenta as cinco etapas que constituem, de maneira geral, o ciclo de vida de qualquer produto.

Figura 1 – Etapas do ciclo de vida dos produtos



Fonte: adaptado de Fava (1991).

Observe-se que o transporte foi considerado etapa do ciclo de vida por se tratar de uma atividade potencialmente geradora de impactos ambientais, que permeia praticamente todo o ciclo de vida de todos os produtos.

CONCEITO DE AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA

Consolidado o conceito de ciclo de vida, é então possível conceituar Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) como uma técnica capaz de avaliar o desempenho ambiental de um produto ao longo de todo o seu ciclo de vida. Tal avaliação se conduz tanto por meio da identificação de *todas* as interações ocorridas entre o ciclo de vida de um produto e o meio ambiente, como pela avaliação dos impactos ambientais potencialmente associados a essas interações (CURRAN, 1996).

BREVE HISTÓRICO DA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA

As primeiras análises realizadas focando a questão ambiental datam de meados da década de 60 do último século, quando algumas das grandes corporações da época, preocupadas em reduzir seus custos operacionais, decidiram inventariar os consumos energéticos decorrentes da fabricação de seus produtos.

Um dos exemplos mais marcantes dentro dessa classe de iniciativas compreende o estudo conduzido por Franklin & Associates, em 1969, a pedido da Coca-Cola Co., no qual foram levantados os consumos de matérias-primas e de energia dos processos de fabricação das embalagens que acondicionavam os produtos da empresa (FABI et al., 2004).

A compilação de trabalhos elaborados segundo esse enfoque, chamada à época de Resource Environmental Profile Analysis (Repa), forneceu, anos depois, a fundamentação teórica necessária para a concepção da ACV.

Os Repa desempenharam importante papel durante a primeira crise do petróleo. Isso porque, como relata Christiansen (1996), particularmente entre os anos 1973 e 1975, foram realizados, por encomenda dos governos de diversos países industrializados, estudos detalhados avaliando o potencial energético do planeta que incluíam não apenas um diagnóstico situacional do problema, mas propostas de alternativas ao uso dos combustíveis fósseis.

A grande diversidade de padrões e critérios para a aplicação da metodologia, aliada à falta de bancos de dados amplos e confiáveis e aos elevados custos envolvidos na realização de tais estudos, resultou, no entanto, na manipulação dos resultados obtidos em muitos dos casos. Por conta disso, esse tipo de análise acabou caindo em descrédito junto à comunidade científica, ao que se seguiu seu conseqüente – muito embora temporário – abandono.

A certeza de que o uso de uma abordagem do tipo foco sobre o exercício da função pelo produto seria o melhor caminho para avaliar as interações entre produto e o meio ambiente ao longo de todo o seu ciclo de vida fez com que alguns centros de pesquisa seguissem investindo tempo e recursos no aprimoramento de pontos deficitários da técnica, a

fim de torná-la um procedimento exequível e confiável. A ACV é decorrente dos progressos empreendidos por tais esforços.

Muito embora a Avaliação do Ciclo de Vida esteja ainda em fase de evolução no que se refere a alguns de seus componentes, o interesse por ela despertado tem aumentado em seus mais variados usos. Dentre as instituições dedicadas ao aprimoramento e à difusão dessa metodologia, a Society of Environmental Toxicology and Chemistry (Setac) faz por merecer especial destaque, pelo papel que desempenha. Na opinião de muitos praticantes, essa instituição – que se ocupa de buscar uma base conceitual uniforme e consistente para a ACV há mais de uma década – constitui atualmente o mais conceituado fórum de discussão para os muitos aspectos correlacionados à referida metodologia em âmbito mundial.

A importância adquirida pela ACV nos contextos da Gestão Ambiental e da Prevenção da Poluição fez com que a estrutura metodológica que a constitui acabasse por ser padronizada pela International Organization for Standardization (ISO), respectivamente na família 14040 da série ISO 14000. Foram lançadas até o ano de 2005 as seguintes normas técnicas dessa coleção:

- ISO 14040: Environmental management – Life Cycle Assessment – Principles and framework (1997)
- ISO 14041: Environmental management – Life Cycle Assessment - Goal and scope definition and inventory analysis (1998)
- ISO 14042: Environmental management – Life Cycle Assessment – Life cycle impact assessment (2000)
- ISO 14043: Environmental management – Life Cycle Assessment – Life cycle interpretation (2000)

Mais recentemente, em 2002, consolidou-se, por intermédio de uma parceria entre a United Nation Environmental Program (UNEP) e a Setac, uma ação batizada com o nome de Life Cycle Initiative (LCI). Dentre os muitos objetivos que justificaram sua criação, a LCI se propõe a tratar a ACV por meio de três programas de envergadura mundial. O primeiro desses programas foi denominado Life Cycle Inventory e se dedica ao desenvolvimento de metodologia de elaboração de inventários ambientais (REBITZER, et al., 2004).

O segundo programa estabelecido pela LCI, chamado de Life Cycle Impact Assessment, se dedica à consolidação da etapa de Avaliação de Impactos que integra a quase totalidade de estudos de ACV. A trilogia é completada com o programa Life Cycle Management, por meio do qual busca-se estimular a agregação de uma perspectiva de ciclo de vida às ações inerentes à gestão empresarial com o objetivo de obter o aumento da eficiência ambiental de produtos e serviços (REBITZER, et al., 2004).

TRAJETÓRIA DA ACV NO BRASIL

A história da ACV no Brasil se inicia formalmente em 1993, com a criação, junto ao Grupo de Apoio à Normalização (GANAN), de um subcomitê dedicado especificamente ao tema, sob a coordenação de Hubmaier Andrade, Cícero Dias e José Ribamar Chehebe, três militantes da área ambiental que detinham laços tanto com a academia quanto com o meio empresarial. Ao cabo de cinco anos esse esforço já começa a dar frutos, na forma da primeira publicação especializada no tema intitulada *Análise de Ciclo de Vida de Produtos: Ferramenta Gerencial da ISO 14000* e de autoria de José Ribamar Chehebe (1997).

O ano de 1998 registra mais um marco na trajetória da ACV no Brasil, com o surgimento do Grupo de Prevenção da Poluição (GP2), da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Criado com os objetivos de gerar conhecimentos e desenvolver competências nos campos da prevenção da poluição e da gestão ambiental, o GP2 decidiu fazer do estudo da ACV sua principal linha de pesquisa. Tal pesquisa é coordenada pelo Prof. Gil Anderi da Silva, que acabou por se reverter, até o segundo semestre de 2005, em uma produção intelectual que contempla seis dissertações de mestrado, uma tese de doutorado, além de mais quatro dezenas de publicações em periódicos e anais de congressos de âmbito nacional e internacional (KULAY, 2004).

No segundo semestre de 1998, o GANA dá por encerradas suas atividades e passa a ser substituído pelo Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental, conhecido como CB-38, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Esse fato fez com que os projetos relacionados à ACV passassem a ser geridos por esse organismo, agora sob a superintendência do Dr. Haroldo Mattos de Lemos. Em linhas gerais, o CB-38 se dedica a organizar a contribuição do Brasil – manifestada na forma de sugestões e aportes colhidos junto a instituições dos mais diversos níveis e segmentos – para a formulação das normas da

série ISO 14000 ligadas a sistemas de gestão ambiental, auditorias ambientais, rotulagem ambiental, avaliação do desempenho ambiental, avaliação do ciclo de vida e terminologia.

Operando segundo estrutura semelhante à do ISO TC207, o CB-38 tem no seu subcomitê SC-05 um fórum permanente para discussões das normas brasileiras sobre Avaliação de Ciclo de Vida. O primeiro produto gerado por esse subcomitê data do final de 2001, com o lançamento, em âmbito nacional, da norma “NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura”. Recentemente, em 2005, foi editada também a “NBR ISO 14041: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Definição de objetivos e escopo e Análise de Inventário”.

A mais nova das frentes de trabalho para a difusão da ACV no Brasil foi estabelecida em 2002, com a criação da Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV). Aberta à manifestação dos diversos segmentos da sociedade, essa instituição tem por missões a construção do banco de dados nacional para realização de estudos de ACV, a formação de massa crítica capacitada à sua prática e a manutenção dos vínculos com a comunidade internacional envolvida com o tema (KULAY, 2004).

A decisão de criar a ABCV teve início com a discussão, entre o setor empresarial, a academia e o governo, para dimensionar o investimento para a difusão da ACV no país. Muito embora orçado em valores vultosos, foi e continua sendo consenso entre os fundadores da entidade que quaisquer desembolsos efetuados no sentido de fazer da ACV uma técnica conhecida, confiável e consistente irão possibilitar maior compreensão e planejamento do sistema de produção e dos processos, promovendo aumento de produtividade, além de garantir às empresas brasileiras a obtenção dos certificados e selos ambientais que assegurem sua entrada nos mercados dos países industrializados.

Projeto Brasileiro de ACV

Para gerir as iniciativas a que se propõe, a ABCV decidiu elaborar o Projeto Brasileiro de ACV, o qual está centrado em dois programas: formação de competências em ACV e construção do Banco de Dados Brasileiro para auxílio a estudos de ACV realizados no e para o país (KULAY, 2004).

O programa de formação de competências compreende, em um âmbito mais generalista, a implementação de diversas ações para os níveis de formação técnica superior, de graduação e de pós-graduação, para os quais será proposto incluir em disciplinas pertinentes de suas grades curriculares a abordagem do tipo Life Cycle Thinking.

No que se refere à formação específica de especialistas e praticantes de ACV planeja-se:

- fomentar o desenvolvimento da ACV em atividades constantes de programas de pós-graduação objetivando a formação de especialistas que, por sua vez, atuarão como multiplicadores na difusão desses conhecimentos;
- criar disciplinas específicas baseadas na ACV nos cursos profissionalizantes;
- incentivar a participação de pessoal acadêmico e não acadêmico em treinamentos de curta e média duração fora do país.

O Banco de Dados brasileiro para auxílio à elaboração de estudos de ACV deve, por sua parte, ser concebido resguardando aspectos de transparência e de consistência. Além disso, no mérito operacional, sua arquitetura e formatação devem lhe permitir ser incorporado a qualquer programa computacional de apoio a estudos de ACV (SILVA, 2003).

Para que tais objetivos sejam alcançados, essa vertente do projeto foi estruturada de acordo com as seguintes fases de execução:

Etapa Preparatória

- Identificar, no país, pessoas físicas e jurídicas interessadas de alguma forma em ACV, a fim de estabelecer o nível de capacitação ora disponível.
- Realização de um workshop com participações internacionais de organismos ligados a ACV – como Setac, Life Cycle Initiative, Unep, elaboradores de bancos de dados e de programas computacionais

especializados em ACV – para subsidiar a definição de parâmetros e critérios a serem usados na construção do banco de dados nacional.

- Elaboração de um subprojeto para operacionalização dos bancos de dados.

Execução dos Inventários

- Execução dos inventários nos moldes definidos durante o workshop.

Disseminação de resultados

- Comunicação dos resultados obtidos.
- Incorporação dos bancos de dados gerados aos programas computacionais de apoio a ACV.

Manutenção

- Realização de inventários complementares.
- Atualização dos inventários já existentes.

Em termos de evolução do projeto, foi realizado, até o momento, o processo de identificação das competências brasileiras em ACV, além de dois workshops, com a presença de especialistas internacionais, com o intuito de estabelecer regras de balizamento do inventário brasileiro (SILVA, 2003).

Paralelamente, está também em andamento um convênio de parceria firmado entre ABCV, Instituto Brasileiro de Informação em Tecnologia (Ibict) ligado ao Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) e governo suíço, na figura do Empa, um centro de pesquisas dedicado exclusivamente à realização de pesquisas na área ambiental. Essa iniciativa visa proporcionar aos técnicos brasileiros uma oportunidade única, e por que não dizer, absolutamente concreta de absorção da capacitação daquele país na elaboração de bancos de dados (KULAY, 2004).

USOS E APLICAÇÕES

Em se tratando de uma metodologia de avaliação cujo foco de abordagem recai sobre o exercício da função do produto, a ACV proporciona informações sobre as interações que ocorrem entre as etapas que constituem o ciclo de vida desse bem e o meio ambiente. Por conta disso, em um dos primeiros simpósios organizados pela Setac ainda na primeira metade da década de 1990, com a missão de discutir os rumos da ACV, estabeleceu-se que a realização de um estudo dessa natureza tem por premissas (Setac, 1993):

- fornecer uma imagem, tão fiel quanto possível, de quaisquer interações existentes com o meio ambiente;
- contribuir para o entendimento da natureza global e interdependente de conseqüências ambientais das atividades humanas;
- gerar subsídios capazes de definir os efeitos ambientais dessas atividades; e
- identificar oportunidades para melhorias de desempenho ambiental.

Por conta disso, é possível subdividir as aplicações triviais a que se destina uma ACV em duas grandes vertentes:

- identificação de oportunidades de melhoria de desempenho ambiental; e
- comparação ambiental entre produtos que cumprem funções equivalentes.

Na primeira vertente, a ACV atua empreendendo a busca dos principais focos de impactos ambientais proporcionados por um sistema de produto. Ao término de sua aplicação, o praticante terá estabelecido a contribuição do sistema em estudo para as diversas categorias de impacto ambiental. De posse desse diagnóstico, planos de ação voltados à minimização dos mesmos poderão ser estabelecidos.

O uso da ACV com essa finalidade pode ser ilustrado por meio de um estudo realizado conjuntamente por pesquisadores das multinacionais do ramo de telecomunicações NTT e NEC, em 2002 (TAKAHASHI et al., 2003). O trabalho em questão relata a aplicação da ACV para a elaboração de um diagnóstico ambiental de equipamentos e facilidades que compõem uma rede informação e de comunicação por cabo no Japão.

Na aplicação da ACV para efeito de comparação de produtos, são avaliados os aspectos ambientais – e seus impactos associados – para diferentes formas de atender a uma mesma função.

A utilização da ACV com esse viés encontra maior apelo junto a organizações empresariais desejosas de demonstrar a supremacia ambiental de seus produtos sobre os de seus concorrentes diretos, com o intuito de conquistar novos mercados.

Além disso, quando efetuada confrontando o desempenho ambiental de um ou mais produtos contra um padrão preestabelecido, a ACV pode servir para a elaboração de rótulos e declarações ambientais.

O fato de a ACV constituir uma técnica eficiente para a elaboração de diagnósticos ambientais disponibiliza sua aplicação para atividades estratégicas de uma organização, tais como projeto de novos produtos e reavaliação de produtos já consagrados.

Nessa aplicação, a ACV se presta à seleção de opções de projeto, em particular no que se refere à busca de novos materiais, formas de energia alternativas e implementação de melhorias de processo visando a minimização de perdas e a concepção de produtos menos agressivos ao meio ambiente. Como exemplo, pode-se citar um estudo realizado na Espanha, em 2000, com dois tipos de luminárias para vias urbanas (IRUSTA e NUNEZ, 2001).

No caso em questão, comparou-se o produto existente – uma luminária cuja caixa era confeccionada em alumínio – com outro, então cogitado para tornar-se seu substituto – com caixa de polietileno. As conclusões obtidas por intermédio da ACV estabeleceram diretrizes fundamentais para o projeto de uma luminária que provocasse menores impactos ao meio ambiente ao longo de todo seu ciclo de vida.

Outro dos usos da ACV se dá junto às agências ambientais, e até mesmo às organizações não governamentais, em especial no que se refere à definição de políticas públicas com vistas à estruturação de sistemas sustentáveis.

Tal iniciativa pode ser exemplificada por meio de estudo realizado em 2002 por técnicos da Scottish Environment Protection Agency com o objetivo de definir estratégias de âmbito nacional para o gerenciamento de resíduos sólidos. No caso em questão, a ACV foi usada como instrumento de seleção, dentro de um universo de seis alternativas possíveis, do

cenário mais adequado de gerenciamento de resíduos para cada uma das onze localidades do país selecionadas para esse fim, como descrito em Dryer e Ferguson (2003).

Jensen (1997) descreve a ACV como uma ferramenta técnica para auxílio à tomada de decisão gerencial de grande importância em:

- identificação de oportunidades para melhorar aspectos ambientais dos produtos em vários pontos do seu ciclo de vida;
- estabelecimento de uma gama de informações sobre as necessidades totais de recursos, consumo de energia e emissões;
- comparação de entradas e saídas do sistema associadas a produtos alternativos, processos ou atividades;
- tomada de decisões na indústria, em organizações de cunho governamental e não- governamental, para efeito do desenvolvimento produtos, processos ou atividades sustentáveis no que se refere às necessidades de recursos naturais e de geração de rejeitos;
- seleção de indicadores pertinentes de desempenho ambiental, incluindo técnicas de medição; e,
- marketing e aprimoramento de produto e serviço.

Finalmente, dentro em breve, a importância da ACV para a competitividade das empresas, particularmente aquelas voltadas à exportação, deve ser potencializada e ganhar contornos mercadológicos, por conta da edição, neste ano, da primeira versão da norma internacional ISO 14025. Esse instrumento, que delibera a respeito da rotulagem de produtos, dispõe que a emissão do Selo Verde do Tipo III seja condicionada a um bom desempenho do produto em termos ambientais, o qual deve, por sua parte, ser aferido por meio da realização de estudo de ACV. Por força desse fato, é possível depreender que o expediente da rotulagem ambiental poderá ser usado em processos de concorrência para a formalização de transações comerciais que se realizem junto ao mercado internacional (REBITZER et al., 2004).

LIMITAÇÕES DA TÉCNICA

Por se tratar de uma técnica recente, a ACV demonstra ainda certas limitações de ordem operacional, dentre as quais deve merecer destaque a elevada quantidade de dados necessários à sua execução (UDO DE HAES e ROOIJEN, 2005).

Em muitos casos, o processo de coleta de informações acaba sendo inviabilizado por motivos diversos, tais como o desinteresse de empresas ou setores produtivos, a preservação da confidencialidade no uso de informações relacionadas a determinados insumos e tecnologias.

Deve-se evidenciar, ainda, a reticência de muitas corporações em despertar a atenção de agências ambientais como também de organizações não-governamentais para aspectos ambientais de seus processos, temendo com isso ser objeto de sanções das mais variadas naturezas.

Além disso, a ausência de uma metodologia unificada para a aplicação da técnica, constitui problema para efeito de interpretação dos resultados obtidos a partir de estudos dessa natureza. Além da ISO, a Setac e algumas outras instituições respeitadas no âmbito de seus países propuseram estruturas conceituais para a condução de estudos de ACV.

Ainda que as variações entre os métodos não sejam demasiadamente dispares, há registros de aplicações dessas metodologias para o mesmo caso acarretando resultados distintos entre si.

Dentro, ainda, das dificuldades que a ACV demonstra, deve-se por fim fazer menção à total indisponibilidade de modelos para avaliação de impactos ambientais de ordem regional e local ocorridos em países localizados no hemisfério sul do planeta (UDO DE HAES e ROOIJEN, 2005).

Até o momento, a confecção das análises das quais se depreende a necessidade de tais abordagens é conduzida utilizando-se modelos europeus e norte-americanos, os quais foram estabelecidos para o âmbito acima indicado, a partir das realidades geográficas, climatológicas, hídricas e de relevo daquelas regiões.

ASPECTOS METODOLÓGICOS

Ainda que haja certa diversidade entre as metodologias de aplicação da ACV, a sistemática padronizada internacionalmente pela ISO, plasmada no texto da norma ISO 14040 é, seguramente, aquela com maior freqüência de uso. De acordo com ISO (14040), tal dispositivo a ACV é composta por quatro fases:

- Definição de objetivos e escopo;
- Análise do inventário;
- Avaliação dos impactos ambientais;
- Interpretação dos resultados.

Todos esses estágios estão inter-relacionados, demonstrando assim o caráter iterativo da metodologia, como pode ser observado no esquema apresentado, na Figura 2, pelas setas de pontas duplas. Será apresentada, a seguir, uma breve descrição de cada um dos elementos antes indicados, conduzida com o intuito de demonstrar, ainda que de maneira superficial, os conteúdos técnico-conceituais que permeiam a metodologia de ACV.

Definição de objetivos e escopo

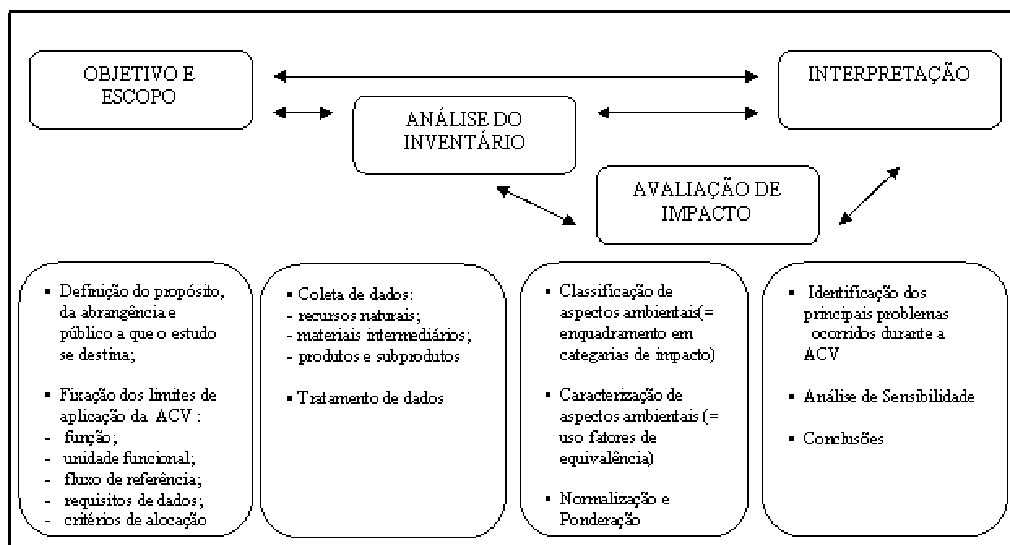
Na etapa de definição de objetivos são estabelecidos a razão principal para a condução do estudo, sua abrangência e o público-alvo a que os resultados se destinam. Já na definição do escopo serão considerados aspectos metodológicos de ordem executiva de cunho essencial para o estudo, tais como o estabelecimento de parâmetros como função, unidade funcional e fluxo de referência do produto, fixação de fronteiras, critérios para a alocação de cargas ambientais, bem como as categorias de impacto a serem usadas na etapa de nome correspondente (ISO 14040, 1997). Por ocasião do estabelecimento do escopo, é importante que sejam considerados aspectos geográficos, temporais e tecnológicos do sistema de produto – ou seja, a porção do espaço sobre a qual se dará a aplicação da metodologia – para efeito de refino das fronteiras e seleção de informações a serem utilizadas posteriormente no inventário.

De uma maneira simplificada, a norma ISO 14040 (1997) estabelece que o conteúdo mínimo do escopo de um estudo de ACV deve referir-se a três dimensões: onde iniciar e

parar o estudo do ciclo de vida (a extensão da ACV), quantos e quais subsistemas incluir (a largura da ACV) e o nível de detalhes do estudo (a profundidade da ACV).

Na prática, o delineamento da fronteira do sistema deve ser realizado com bastante acuidade, pois deve levar em consideração os recursos financeiros disponíveis e o tempo, ou seja, existem certas tensões entre a precisão e a praticidade. Portanto, devem-se adotar procedimentos que tornem o estudo gerenciável, prático e econômico, sem que sejam, no entanto, descuidados aspectos que confirmam confiabilidade ao modelo (KEOLEIAN, 1994).

Figura 2 – Estrutura metodológica da ACV, segundo a Norma ISO 14040



Fonte: Chehebe (1997), adaptado por Fukurozaki e Seo (2004).

Análise do inventário

A análise de inventário é a segunda fase de metodologia da ACV. Nela são realizadas a coleta e a quantificação de todas as variáveis (matéria-prima, energia, transporte, emissões para o ar, efluentes, resíduos sólidos, entre outros) que se relacionem ao ciclo de vida de um produto, processo ou atividade.

A condução do inventário consiste de um processo iterativo, cuja seqüência de eventos envolve a checagem de procedimentos, de forma a assegurar que os requisitos de qualidade estabelecidos na primeira fase estejam sendo obedecidos. Para muitos autores, essa fase se assemelha bastante a um balanço contábil-financeiro, no qual, em vez de valores econômicos, serão consideradas correntes de matéria e de energia. Por conta disso,

pode-se depreender que o total de entradas no sistema em estudo deve ser comparável, em número, ao somatório das saídas do mesmo (KEOLEIAN, 1994).

O inventário, na prática, revela-se um procedimento difícil e trabalhoso, por conta de uma série de razões, todas elas ligadas direta ou indiretamente à coleta de dados. Dessa forma, recomenda-se organizar a fase de análise do inventário de acordo com as seguintes atividades (ISO 14040, 1997):

- preparação para a coleta de dados, que compreende construção do diagrama de fluxo de processo envolvendo as fases de aquisição de matéria-prima, processo de fabricação, uso/manutenção e reciclagem/tratamento de resíduos;
- coleta de dados;
- definição e refinamento dos limites do sistema;
- determinação dos procedimentos de cálculo;
- procedimentos de alocação.

A Norma ISO 14.040 estabelece que um esquema geral para o inventário deva, em princípio, ser constituído de:

- apresentação do sistema de produto a ser estudado e dos limites considerados em termos dos estágios de Ciclo de Vida, unidades de processo e entradas e saídas do sistema;
- uma base para comparação entre sistemas (em estudos comparativos);
- procedimentos de cálculo e da coleta de dados, incluindo-se as regras para alocação de produtos e o tratamento dispensável à energia;
- elementos necessários a uma correta interpretação, por parte do leitor, dos resultados da análise do inventário.

Avaliação de Impacto

Representa um processo tanto qualitativo como quantitativo, usado no entendimento e avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais, que se baseia nos resultados obtidos na análise do inventário, levando em conta os efeitos que podem ser

causados ao meio ambiente e à saúde do homem. Os níveis de detalhe, escolha dos impactos a serem avaliados e a metodologia utilizada dependem do objetivo e do escopo do estudo. A análise do impacto converte os resultados do inventário para um grupo selecionado de impactos, tais como efeito estufa, mortalidade, destruição da camada de ozônio, eutrofização, formação fotoquímica de ozônio, toxicidade, ocupação de área, entre outros.

Tal como aparece apresentado no texto da ISO 14040 (1997), a avaliação de impacto é, geralmente, constituída dos seguintes elementos:

- *Seleção e definição das categorias* – onde são identificadas as preocupações ambientais e as categorias e os indicadores que o estudo utilizará. As categorias devem ser definidas com base no conhecimento científico dos processos e mecanismos ambientais. Como isso, nem sempre é possível, admite-se, que em alguns casos muito específicos o julgamento de valores possa substituir parte do conhecimento científico.

- *Classificação* – onde os dados do inventário são classificados e agrupados nas diversas categorias selecionadas (como aquecimento global, destruição da camada de ozônio, acidificação, toxicidade humana, exaustão dos recursos naturais, etc.). A atribuição adequada de aspectos ambientais às suas categorias de influência é condição essencial para conferir relevância e validade à avaliação de impacto.

- *Caracterização* – na transposição dos aspectos ambientais em seus impactos correspondente, realizada por meio da aplicação de índices de conversão denominados *fatores de equivalência*. Quando a caracterização estiver completa, formar-se-á então o *Perfil de Impactos Ambientais* do produto em estudo, por meio do qual será possível comparar diretamente o potencial dos impactos do objeto sob análise.

São também considerados, para efeito de execução da Avaliação de Impactos, muito embora em caráter não obrigatório, os procedimentos de *Normalização* e *Valoração*, cuja aplicação se destina à consolidação do perfil de cargas ambientais em um índice único.

A avaliação de impacto pode não ser necessária em todas as aplicações da ACV de produtos; no entanto, sua realização se faz útil para efeito da avaliação de oportunidade de melhoria de desempenho ambiental do sistema, em casos para os quais esse mesmo diagnóstico seja essencial ao processo gerencial de tomada de decisão (KEOLEIAN, 1994; CHEHEBE, 1997).

Interpretação dos resultados

Consiste na identificação e análise dos resultados obtidos nas fases de inventário ou avaliação de impacto de um estudo de ACV. O produto da interpretação de resultados pode tomar a forma de conclusões e recomendações aos profissionais que se valem da ACV como instrumento de auxílio ao processo de tomada de decisão. A fase de interpretação de uma ACV compreende as três etapas seguintes (ISO 14040, 1997):

- Identificação das questões ambientais mais significativas com base nos resultados da análise do inventário ou ACV;
- Avaliação que pode incluir elementos tais como a checagem da integridade;
- Sensibilidade e consistência; conclusões, recomendações e relatórios sobre as questões ambientais significativas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ACV vem se constituindo, cada vez mais, em importante ferramenta da Gestão Ambiental, talvez pelo fato de ser a única de sua classe que permite, segundo um foco de abordagem sistêmico, tanto a identificação de oportunidades de melhoria do desempenho ambiental de um produto quanto a comparação ambiental de produtos que desempenhem a mesma função.

A análise proporcionada pelo uso da ACV se dá de uma forma altamente estruturada, que envolve várias questões ambientais simultaneamente, além de ser baseada em sistemas quantificáveis, sendo, portanto, aparentemente, uma técnica objetiva.

Apesar do potencial que representa para os tomadores de decisão, a ACV demonstra ainda certas limitações, que devem ser transpostas de forma a consolidar sua contribuição à sustentabilidade no planeta.

Houve época – meados da década de 1980 – em que a credibilidade da ACV foi posta em dúvida, em razão, por exemplo, de estudos comparativos entre os mesmos produtos

apresentarem resultados opostos. Apesar da boa fé com que esses trabalhos foram conduzidos, isto não precisaria ter ocorrido necessariamente.

A preocupação surgida na comunidade da ACV levou a minuciosos estudos sobre a origem das diferenças, tendo sido constatado que, devido à complexidade da metodologia, os critérios adotados para se definir os procedimentos de coleta de dados poderiam influir significativamente nos resultados finais.

Aliado a isto, verifica-se que a adoção de tais critérios é ditada, principalmente, pelos objetivos e pelo escopo do estudo. Ou seja, a definição sobre vários dos procedimentos a serem usados na execução dos estudos ainda é feita com base em critérios subjetivos e, como tal, sujeitos muitas vezes a inconsistências.

A solução paliativa usada atualmente como tentativa de contornar essa limitação encontra-se especificada na norma ISO 14040 (1997), que dispõe, como importante requisito, a total e absoluta transparência na elaboração do relatório do estudo, que, por sua vez, deve conter de maneira explícita e inequívoca todas as premissas e hipóteses adotadas ao longo de sua execução.

Neste sentido, faz-se necessário outro investimento intelectual, agora voltado para o desenvolvimento e a consolidação de uma metodologia de execução de estudos de ACV que viabilize a obtenção de resultados consistentes e reproduzíveis, sem qualquer prejuízo da consecução dos inúmeros e distintos objetivos aos quais a ferramenta se presta.

Outro obstáculo que dificulta a maior difusão do uso da ACV é o seu ainda elevado custo de sua execução, devido, principalmente, ao número de dados a serem coletados.

Em muitos casos, o processo de coleta de informações acaba sendo inviabilizado por motivos diversos, como o desinteresse de empresas ou de setores produtivos, a preservação da confidencialidade do uso de determinados insumos e tecnologias ou a reticência de muitas corporações, com receio de despertar a atenção de seus sistemas produtivos para as agências ambientais e organizações não-governamentais.

BIBLIOGRAFIA

CHEHEBE, J.R. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark. CNI, 1997. 120 p.

CHRISTIANSEN, K. Life Cycle Assessment in a Historical Perspective. *In: Anais*. 1º Workshop Internacional sobre Análise do Ciclo de Vida, Rio de Janeiro, 1996.

CURRAN, M. A. (coord.). **Environmental Life Cycle Assessment**. New York: McGraw Hill, 1996.

DRYER, A.; FERGUSON, J. The National Waste Plan for Scotland – LCA and BPEO in Practice. *In: InLCA/LCM–Life Cycle Assessment/Life Cycle Management: a bridge to a sustainable future*. 2003. Seattle. InLCA/LCM – Seattle

FABI, A.R.; ENSINAS, A.V.; MACHADO, I.P.; BIZZO, W.A. Uso da avaliação de ciclo de vida em embalagens de plástico e de vidro na indústria de bebidas no Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, out., 2004.

FAVA, J. A. (ed.). **A technical framework for life-cycle assessments**. Washington, D.C., Society of Environmental Toxicology and Chemistry: SETAC Foundation for Environmental Education, Vermont, 1991. 134 p.

FUKUROZAKI, S.; SEO, E. S. M. Metodologia da análise de ciclo de vida; importância na inserção da tecnologia de célula a combustível do tipo PEMFC. **Anais**. 2º Workshop Internacional sobre Células a Combustível. Campinas, São Paulo, out. 2004.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Environmental management – Life cycle assessment: Principles and framework – ISO 14.040**. Genebra: ISO, 1997.

JENSEN, A. (coord.). **Life-Cycle Assessment (LCA): A guide to approaches, experiences and information sources**. Copenhagen: Report to the European Environmental Agency, 1997.

IRUSTA, R.; NUNEZ, Y. Improving Eco-Design of Street Lighting Systems Using LCA. *In: LCM – 1st*. International Conference on Life Cycle Assessment. Copenhagen. 2001.

KEOLEIAN, G. A. The application of life cycle assessment to design. **Journal of Cleaner Production**, v. 1, pp. 143-149, 1994.

KULAY, L. Uso da Análise de Ciclo de Vida para a Comparação do Desempenho Ambiental das Rotas Úmida e Térmica de Produção de Fertilizantes Fosfatados. Tese (Doutorado) - Engenharia Química. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2004.

REBITZER, G.; EKVALL, T.; FRISCHKNECHT, R.; HUNKELER, D.; NORRIS, G.; RYDBERG, T.; SCHMIDT W. P.; SUH, S.; WEIDEMA, B. P; PENNINGTON, D.W. Part 1: framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. **Environment International**, 30, pp. 701-720, 2004.

SILVA, G. A. *Análise de Ciclo de Vida*. Programa de Educação Continuada em Engenharia, PECE. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Notas de Aula.2003.

SILVA, G. A; KULAY, L. Environmental Performance Comparison of Wet and Thermal Routes for Phosphate Fertilizer Production Using LCI – A Brazilian Experience. *In: InLCA/LCM – Life Cycle Assessment/Life Cycle Management: a bridge to a sustainable future*. 2003. Seattle.

SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY. *Guidelines for Life-cycle Assessment: A "Code of Practice"*. Brussels: SETAC. 1993.

SONNEMAN, G. *Environmental damage estimations in industrial process chains – Methodology development with case study on waste incineration and special focus on human health*. Tese (doutorado) - Tarragona. 332p. Universitat Rovira i Virgili – Espanha. 2002.

TAKAHASHI, I.; NAKAMURA, J.; MAEDA, T.; ORIGUCHI, T.; KUNIOKA, T.; HAVADA, H.; MIYAMOTO, S.; FUJIMOTO, J. Evaluation of Environmental Impact of Wired Telecommunication Networks in Japan. *In: InLCA/LCM – Life Cycle Assessment/Life Cycle Management: a bridge to a sustainable future*. Seattle. 2003.

UDO DE HAES, H. A.; ROOIJEN, M. V. *Life cycle approaches: The road from analysis to practice*. França: United Nations Environment Programme/Life Cycle initiative, 2005.

VIGON, B.W. (coord.). *Life-cycle assessment: inventory guidelines and principles*. Cincinnati, RREL / USEPA, 108 p. 1993 (EPA 1600 / R-92 / 245).

Artigo recebido em 17.03.2006. Aprovado em 17.05.2006