

RECICLAGEM DE EMBALAGENS DE AÇO EM TERMOS DE INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA¹

Jozeti Barbutti Gatt²
Guilherme de Castilho Queiroz³
Eloísa E. C. Garcia⁴
Paulo H. M. Kiyataka⁵
Fiorella B. H. Dantas⁵
Sandra Balan M. Jaime⁶
João Luiz Câmara dos Santos⁷
José Queiroz da Rocha Filho⁸

Resumo

Este trabalho apresenta parte de um estudo desenvolvido visando a interpretação de produtos brasileiros em aço pela técnica de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), considerando as condições, recursos e tecnologias brasileiras relativos aos anos de 2003 a 2006. Os Inventários do Ciclo de Vida foram construídos com dados coletados na cadeia produtiva do aço, desde a extração do minério de ferro até a situação de descarte e de reciclagem da lata no pós-consumo e a metodologia utilizada foi baseada nas normas ABNT ISO 14040 e 14044 de ACV. Paralelamente foi modelada, com base em análises de laboratório, a situação de descarte inadequado da lata de aço no meio ambiente onde ocorre a sua degradação. Não foi efetuada análise de impacto sobre os produtos ou processos avaliados, entretanto, o direcionamento do levantamento dos dados foi baseado nas seguintes categorias de impacto: redução de recursos naturais, aquecimento global, nutrificação/eutrofização, acidificação, formação de fumaça fotoquímica oxidante, toxicidade humana, ecotoxicidade, uso de espaço para disposição final e uso de terra, consideradas mais relevantes para a situação brasileira. A unidade funcional foi de 1.000 kg de latas de aço de duas peças para bebidas. Os resultados indicaram que o esforço da reciclagem traz benefícios não só na redução dos impactos decorrentes da disposição final da lata de aço como também representa significativa redução no uso de água, de energia, de recursos naturais e nas emissões para ar, água e solo associadas às etapas de produção do aço.

Palavras-chave: Avaliação do ciclo de vida; Folha-de-flandres; Lata.

RECYCLING OF STEEL PACKAGING IN TERMS OF LIFE CYCLE INVENTORY

Abstract

This paper describes part of a study designed to interpret Brazilian steel products by means of the Life Cycle Assessment (LCA) technique, considering Brazilian conditions, resources and technologies relating to the years 2003 - 2006. The inventories of the Life Cycle were built with data collected from the steel production chain, from extraction of iron ore up to disposal and recycling of cans post-consumption. The methodology used was based on standards ABNT ISO 14040 and 14044 of LCA. At the same time, the situation of inappropriate disposal of steel cans in the environment where they degrade was modelled based on laboratory analysis. No impact analysis on the products or processes evaluated was made; however, the orientation of the data survey was based on the following categories of impact that were considered more relevant for the Brazilian situation: consumption of natural resources, global warming, nutrification / eutrophization, acidification, photochemical smog, human toxicity, ecotoxicity, use of dumping grounds for disposal and land use. The functional unit was 1,000 kg of two-piece beverage steel cans. The results indicated that the effects of recycling produce benefits not only because recycling reduces the impacts from the final disposal of steel cans, it also means significantly reduced use of water, energy, natural resources and in emissions to the air, water and soil associated to steel production.

Key words: Life cycle assessment; Tinplate; Can.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
² Engenheira Química, M.Sc. em Engenharia Mecânica – CETEA/ITAL
³ Engenheiro mecânico, Dr. em Planejamento de Sistemas Energéticos – CETEA/ITAL
⁴ Engenheira de Alimentos, M.Sc. em Tecnologia de Alimentos – CETEA/ITAL
⁵ Engenheiro de Alimentos – CETEA/ITAL
⁶ Engenheira de Materiais – M.Sc. em Ciência e Engenharia de Materiais – CETEA/ITAL
⁷ Engº Químico, M.Sc. em Eng. Metalúrgica e de Materiais – Companhia Siderúrgica Nacional
⁸ Químico Industrial - Companhia Siderúrgica Nacional



1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Cempre,⁽¹⁾ em 2008 foram produzidos 33,8 milhões de toneladas de aço bruto no Brasil, das quais 575 mil toneladas corresponderam às folhas de aço para embalagem. Nesse mesmo ano foram recicladas no país 46,5% das embalagens de aço consumidas, incluindo a taxa de reciclagem de 82% referente às latas de aço de duas peças para bebidas.

A reciclagem de aço como um todo atinge valores elevados em todo o mundo porque aço reciclado é um insumo inerente ao processo de produção desse material.⁽²⁾ Existem basicamente dois processos para obtenção de aço, sendo o processo com fornos a oxigênio aquele que utiliza de 25% a 35% de aço reciclado e o aço produzido é aplicado em produtos que requerem características de estampabilidade, como peças automotivas e embalagens, e aqueles com fornos elétricos, que utilizam quase 100% de aço reciclado e o aço produzido nesse caso é aplicado em situações que requerem alta resistência dos materiais, como estruturas metálicas para construção, barras de reforço etc.

Assim, aço é um material bastante reciclado no Brasil e no mundo, e isto ocorre tanto por razões econômicas quanto ambientais, sendo mais barato reciclá-lo, que obtê-lo a partir da extração mineral. Contudo deve ser ressaltado que muitas aplicações para o aço são duráveis (pontes, construções, carros etc), sendo utilizadas por muito tempo, tornando-se necessária a extração de minério de ferro virgem, para suprir a demanda decorrida de expansões econômicas e populacionais. De maneira geral, todo produto fabricado em aço apresenta no mínimo cerca de 25% de aço reciclado em sua constituição.⁽³⁾

Avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma técnica definida pela ABNT NBR ISO 14040⁽⁴⁾ como a compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida. Este artigo apresenta os resultados relativos à aplicação da técnica de ACV na análise de duas opções de destino de resíduos de embalagens de aço pós-consumo (reciclagem e descarte), os quais fazem parte de um amplo estudo de avaliação do ciclo de vida da embalagem de aço realizado para a Companhia Siderúrgica Nacional, com ênfase em análise de inventário do ciclo de vida da folha-de-flandres e da lata de aço para bebida.

Embora nesse artigo estejam apresentadas principalmente informações sobre a influência da taxa de reciclagem no ciclo de vida da lata de aço, é possível mencionar que, de forma geral, o desenvolvimento desse amplo estudo de ACV trouxe como benefícios para a CSN:

conhecimento dos principais pontos de impacto ambiental da cadeia produtiva de embalagens de aço e levantamento de subsídios que podem indicar possibilidades de melhoria ambiental no processo de produção de folhas de aço para embalagem; estabelecimento de infra-estrutura básica para estudos posteriores de produtos à base de aço como eletrodomésticos, carros etc e formatação de informações que podem servir de subsídios à rotulagem Ambiental do Tipo III da embalagem, e, no futuro, de produtos nela acondicionados; e obtenção de elementos para auxílio ao gerenciamento da questão da disposição final da embalagem e ao incentivo à reciclagem pós-consumo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Coleta e Compilação de Dados

Os produtos em aço avaliados foram selecionados, considerando a sua importância estratégica para o setor.

As unidades funcionais adotadas descritas na Tabela 1 referem-se à quantidade de produto, fabricada, pronta para uso pela etapa seguinte da cadeia produtiva de embalagem ou de sistemas de acondicionamento.

Tabela 1. Produtos em aço selecionados para o estudo

Embalagem/material	Unidade Funcional
Folha-de-flandres	1.000 kg de folha-de-flandres em bobina
Lata de aço para bebida	1.000 kg de lata para bebidas

Não foi efetuada Avaliação de Impacto sobre os produtos ou processos avaliados, entretanto, foram selecionadas as categorias de impacto mais relevantes para a situação brasileira, para orientação e direcionamento do levantamento dos dados coletados, quais sejam: redução de recursos naturais, aquecimento global, nutrição/eutrofização, acidificação, formação de fumaça fotoquímica oxidante, toxicidade humana, ecotoxicidade, uso de espaço para disposição final e uso de terra.

O trabalho refletiu, sempre que possível, as condições, recursos e tecnologia brasileiras relativos aos anos de 2003 a 2006. Os modelos de geração de energia elétrica e de produção de combustíveis e transporte utilizados referem-se a 2000 e 1998, respectivamente.⁽⁵⁾

As fronteiras do estudo encontram-se ilustradas na Figura 1, onde se observa que a folha de aço foi analisada a partir da extração dos recursos naturais como minério de ferro, carvão mineral etc.

As principais etapas de transporte foram incluídas nas fronteiras do sistema. Quando o meio de transporte de cargas (caminhão, trem etc.) retornava vazio em uma determinada etapa do sistema, a distância percorrida foi considerada em dobro. Também foram incluídos os principais aspectos (consumos e emissões) relativos à extração e produção dos combustíveis fósseis (pré-combustão) como óleo diesel, óleo combustível, carvão e gás natural.

A água utilizada nos processos industriais e, posteriormente, devolvida aos esgotos ou rios foi quantificada, excluindo-se a água de circuitos fechados e/ou recirculação interna. Entretanto, foi considerada a água de reposição (*make up*) necessária. Nos casos em que o abastecimento de água para a indústria é proveniente da rede pública, o processo público de tratamento de água foi incluído nas fronteiras.

Vale enfatizar que neste estudo de ACV de Embalagens Metálicas não foram considerados os investimentos capitais, ou seja, os recursos e a energia utilizados na construção e manutenção de indústrias, estradas, usinas de energia, caminhões etc. Identificou-se e quantificou-se apenas os consumos e emissões relativos à produção, distribuição, reciclagem e disposição final de materiais.

Foi utilizado para arquivo e modelagem dos dados o *software* PIRA *Environmental Management System* – PEMS.⁽⁶⁾

A coleta de dados foi baseada em questionário preparado conforme o fluxograma de processo de cada material/produto envolvido ou por meio de entrevista pessoal. Além da Companhia Siderúrgica Nacional como produtora da folha-de-flandres,

participaram da coleta de dados, o produtor da lata de aço para bebida e um reciclador da embalagem pós-consumo.

Para cada questionário respondido, inicialmente analisou-se a coerência e o balanço de massa dos dados fornecidos.

Quando não foi possível levantar informações práticas sobre alguma das etapas do processo analisado, os principais itens de consumo e emissões a ela relacionados foram estimados, tomando como referência processos ou equipamentos similares, ou mesmo dados de literatura.

Na modelagem da disposição final considerou-se que, 40,5% do resíduo sólido coletado no Brasil tinha como destino final os aterros sanitários e 59,5% tinha destino inadequado, conforme dados do IBGE.⁽⁷⁾

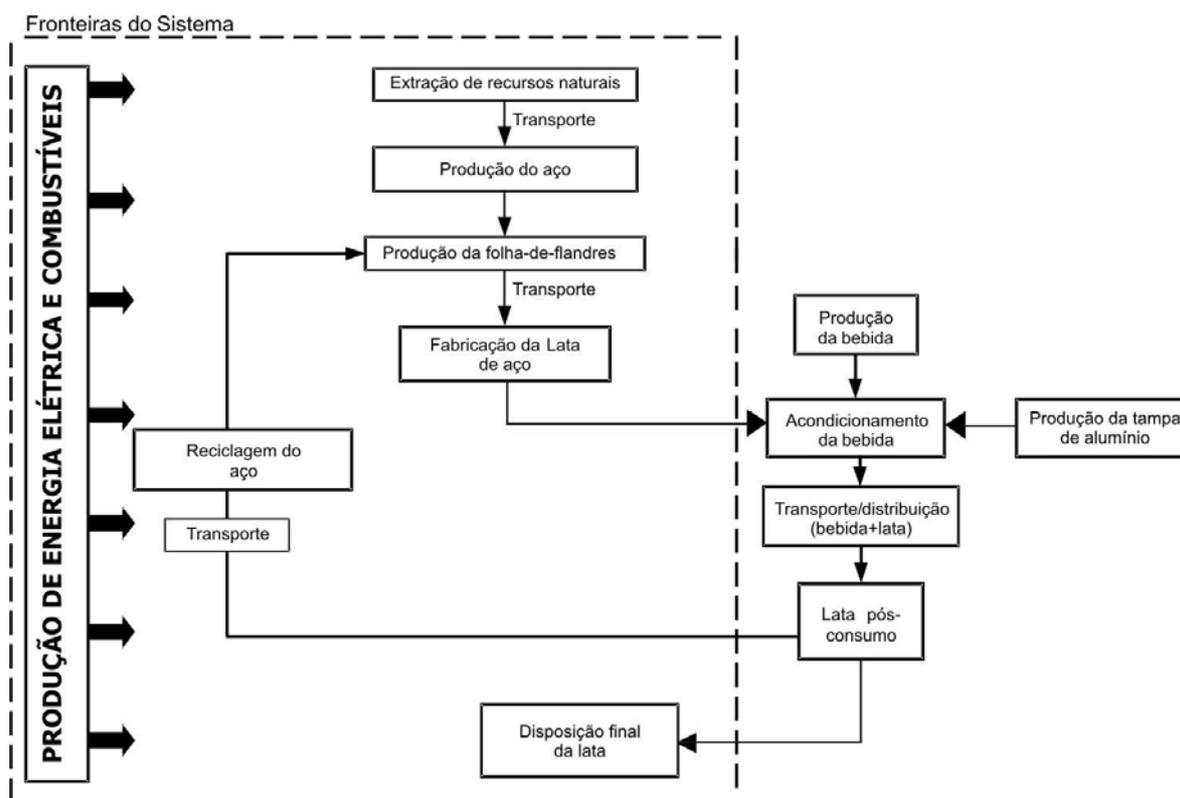


Figura 1. Representação esquemática das fronteiras do estudo.⁽⁸⁾

2.2 Construção do Inventário do Ciclo de Vida da Lata de Aço, Considerando Diferentes Taxas de Reciclagem e Degradação no Ambiente

Na Figura 2 é apresentado o fluxograma empregado na construção do Inventário do ciclo de vida da lata de aço de duas peças para bebida contemplando a reciclagem no pós-consumo e a degradação no ambiente.

Selecionou-se as taxas de reciclagem de 47% e 88% para avaliação nesse trabalho porque a primeira refere-se à taxa de reciclagem de aço de forma geral, divulgada pelo Cempre⁽⁹⁾ para o ano de 2003 (mais recente divulgada até o momento do estudo) e a segunda, por ser a taxa de reciclagem das latas de duas peças em aço divulgada para o ano de 2005.⁽¹⁰⁾

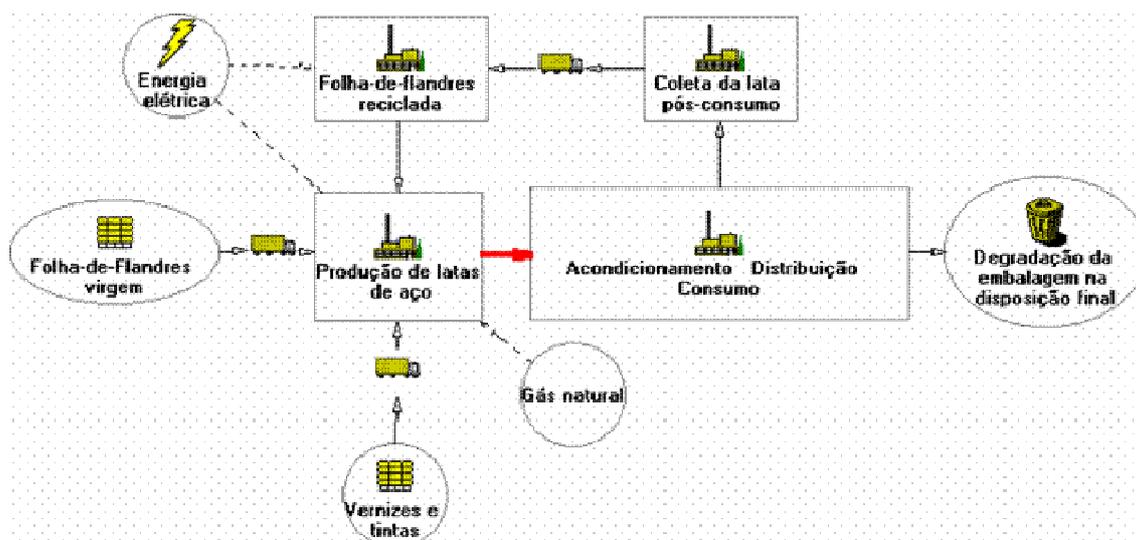


Figura 2. Fluxograma empregado na obtenção do Inventário de Ciclo de Vida da lata de aço para bebida.⁽⁸⁾

Embora na prática nem sempre a aplicação do material proveniente da reciclagem de latas pós-consumo seja empregado na fabricação de novas latas, no modelamento de um estudo de ACV é possível contabilizar seus benefícios ambientais. Nesse caso, o material reciclado substituirá a matéria-prima virgem em outro processo produtivo e o “custo ambiental” (consumos e emissões) das etapas de coleta e reciclagem será contabilizado dentro das fronteiras do sistema estudado, conforme recomendação da norma ABNT ISO 14044.⁽¹¹⁾

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 ilustra a redução no consumo de recursos naturais em função da taxa de reciclagem no Inventário de Ciclo de Vida (ICV) da lata de aço de duas peças sem tampa produzida com folha-de-flandres a partir de aço virgem, considerando 47% e 88% de taxa de reciclagem e inserindo a etapa de disposição final para a parcela de lata que não é reciclada. Nesse grupo os itens quantificados são água e matérias-primas básicas para confecção dos produtos e para fabricação dos combustíveis. Petróleo e gás natural são os recursos naturais usados para transporte e produção de energia. Carvão foi quantificado como combustível e como matéria-prima para a produção de coque. O consumo de urânio diz respeito à parcela de energia de fonte nuclear que compõe a energia elétrica da rede pública brasileira. Verifica-se que o consumo de água apresentou economia da ordem de 21% e 40%, respectivamente em relação às taxas de reciclagem de 47% e 88% e que, com exceção do gás natural, reservas bióticas e urânio, que tiveram seu consumo aumentado em função do processo de reciclagem, o qual utiliza gás natural para geração de calor e energia elétrica da rede pública, todos os outros recursos avaliados apresentaram diminuição significativa (relativamente, proporcional) do consumo em função da taxa de reciclagem do aço.

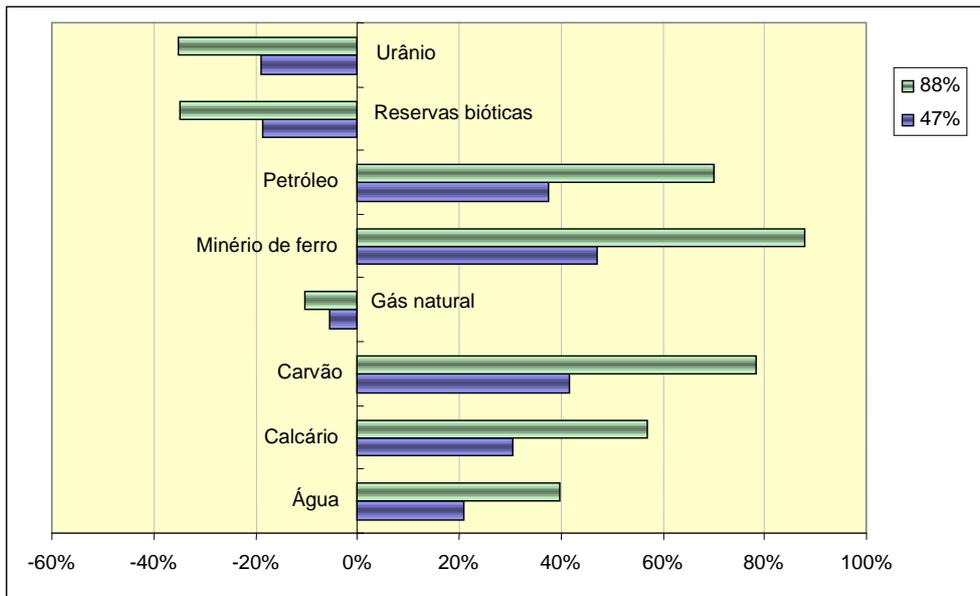


Figura 3. Redução no consumo de recursos naturais em relação à situação sem reciclagem (100% de matéria-prima virgem).

A redução do consumo de energia em função da taxa de reciclagem é ilustrada na Figura 4. A energia total é a quantidade de energia, em megajoules (MJ), requerida pelo sistema de produto estudado, associada à unidade funcional. Este item incorporou a energia necessária para a produção dos combustíveis e sua utilização em fornos, caldeiras e outros processos industriais, assim como nas etapas de transporte e para a geração de energia elétrica utilizada pelo sistema. Verifica-se que a economia no consumo de energia total é de 18% e 34%, respectivamente para as taxas de reciclagem de 47% e 88%. Considerando apenas a porção de energia hidroelétrica, basicamente da etapa de reciclagem, verifica-se o aumento no consumo de cerca de 19% e de 35%, respectivamente para as mesmas taxas de reciclagem.

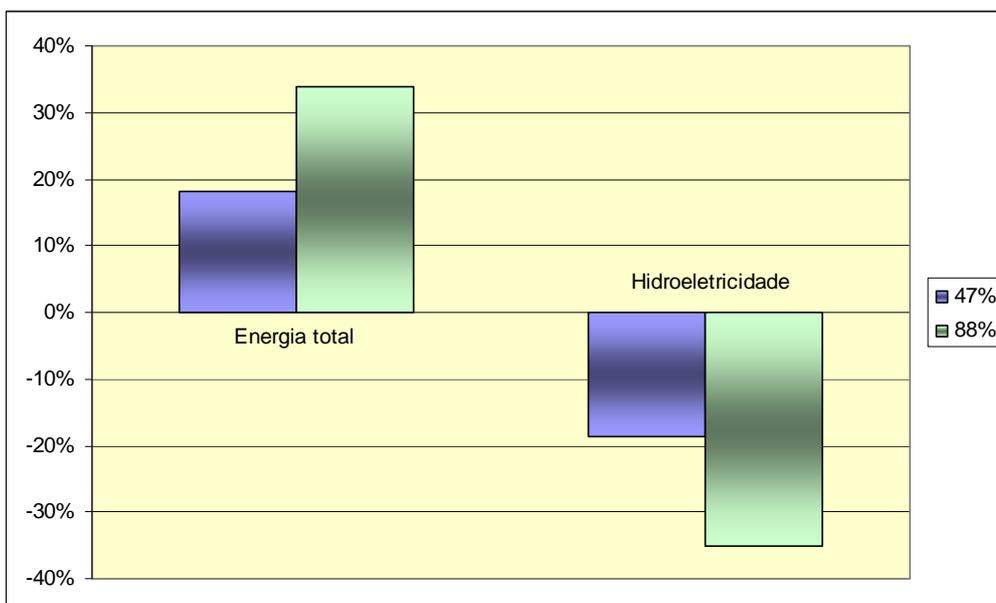


Figura 4. Redução no consumo de energia em relação à situação sem reciclagem (100% de matéria-prima virgem).



A redução das emissões para o ar em função da reciclagem é ilustrada na Figura 5.

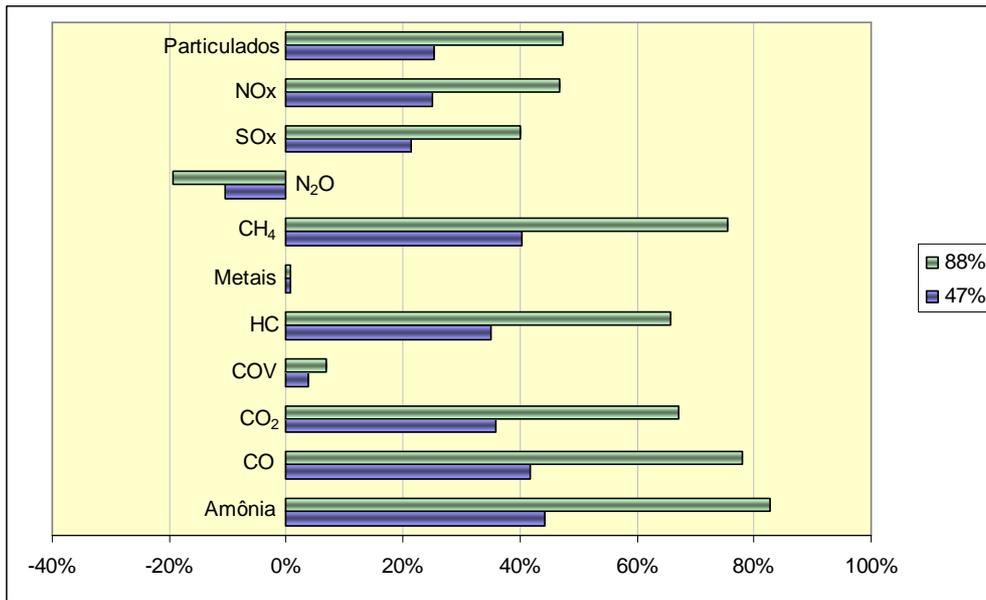


Figura 5. Redução nas emissões para o ar em relação à situação sem reciclagem (100% de matéria-prima virgem).

Grande parte dessas emissões é decorrente dos processos de combustão industrial e do transporte, outras emissões são específicas dos processos de fabricação e foram quantificadas com base em informações fornecidas pelas empresas, por meio de cálculos estequiométricos ou mesmo com auxílio de Bancos de Dados internacionais. Verifica-se acentuada redução principalmente das emissões de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarbonetos (HC) e metano (CH₄) para o ar, conforme a taxa de reciclagem foi aumentada. O único item que sofreu aumento com o aumento da taxa de reciclagem foi o óxido nitroso (N₂O), que é oriundo da energia elétrica da rede pública bastante empregada no processo de reciclagem avaliado.

A redução nas emissões para a água é ilustrada na Figura 6.

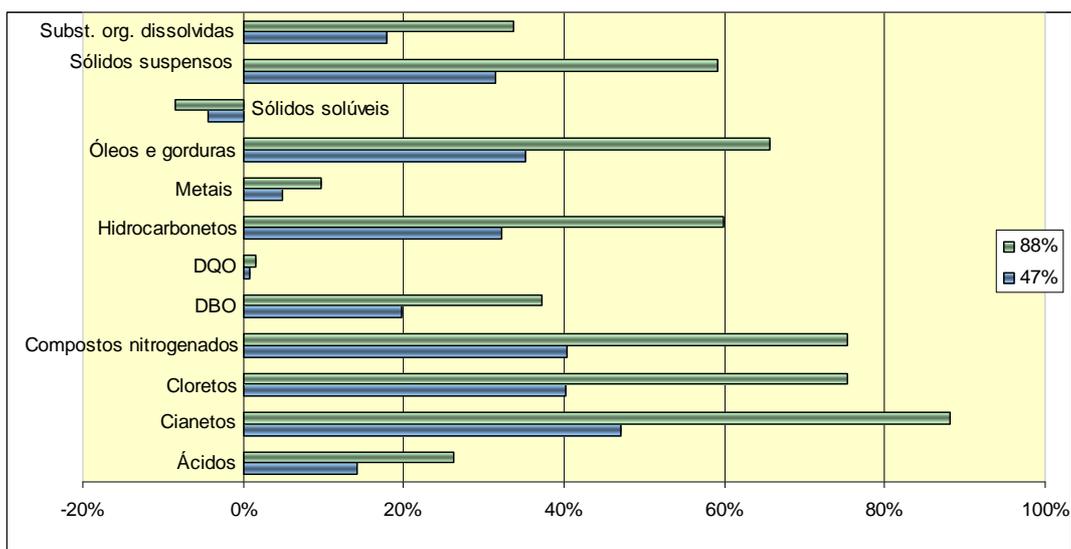


Figura 6. Redução nas emissões para a água em relação à situação sem reciclagem (100% de matéria-prima virgem).

Qualquer nutriente, principalmente compostos nitrogenados e óleos e gorduras, pode levar ao efeito de eutrofização, ou seja, aumento de biomassa na água e, conseqüentemente, redução do oxigênio disponível para flora e fauna aquáticas, por isso a importância de sua quantificação. A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a demanda química de oxigênio (DQO) são outras formas de avaliar a presença desses nutrientes. No gráfico da Figura 6, verifica-se que há redução de todos os parâmetros quantificados em função do aumento da taxa de reciclagem, com exceção dos sólidos solúveis, que são provenientes do processo de reciclagem.

A Figura 7 ilustra a redução das emissões de resíduos sólidos em função da taxa de reciclagem de latas. O parâmetro reciclagem externa ao sistema inclui os subprodutos dos processos produtivos com valor comercial, mais os resíduos de processo que são reciclados, porém fora das fronteiras consideradas. No item resíduo de processo industrial estão contabilizados os resíduos sólidos inertes, não inertes e tóxicos gerados pelos processos industriais e no item resíduo de processo industrial estéril está relacionado à mineração de calcário e de ferro. O item volume usado para disposição final, refere-se ao volume ocupado em aterros industriais pelos resíduos de processo industrial e pelo resíduo de processo estéril e em aterros sanitários, aterros controlados e “lixões”, pelo resíduo da lata de aço pós-consumo, calculado considerando a densidade aparente do resíduo, estimada conforme o material, e se há ou não compactação do lixo nos aterros ou no “lixão”. Verifica-se que todos os resíduos sólidos gerados no processo produtivo do aço anteriormente às etapas de laminação como resíduo estéril e resíduo de processo industrial sofreram grandes reduções com a introdução de aço reciclado ao processo. Os resíduos decorrentes da disposição final das latas pós-consumo foram reduzidos na mesma proporção das taxas de reciclagem avaliadas, ou seja, 47% e 88%.

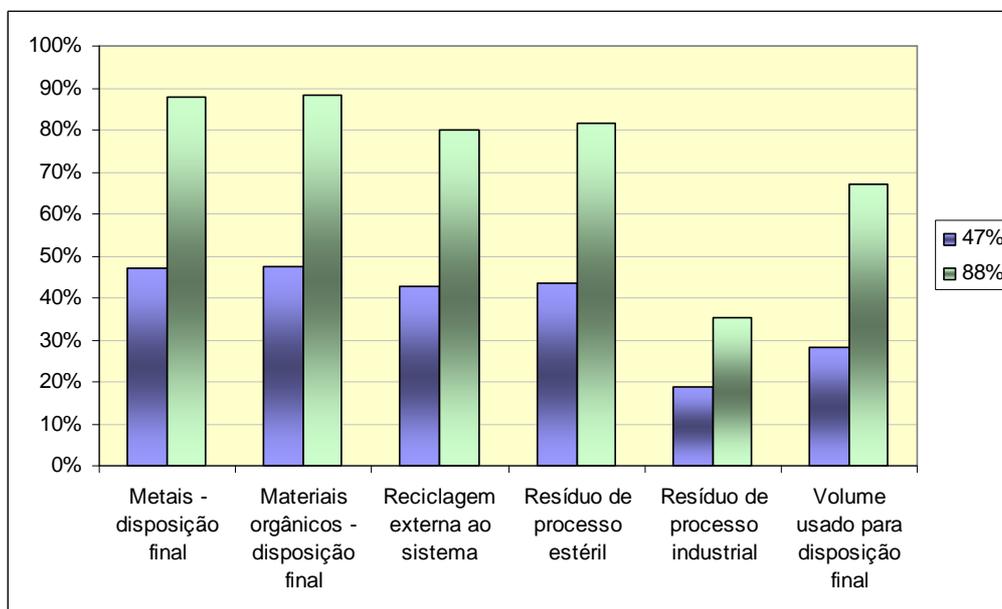


Figura 7. Redução nas emissões de resíduo sólido em relação à situação sem reciclagem (100% de matéria-prima virgem).

4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, é possível chegar às seguintes conclusões:

- os resultados mostraram que o esforço da reciclagem no pós-consumo traz benefícios não só na redução dos impactos decorrentes da disposição final da

lata de aço como também representa significativa redução no uso de água, de energia, de recursos naturais e nas emissões para o ar, água e solo associadas às etapas de produção do aço, anteriores aos processos de laminação;

- como o processo de reciclagem estudado, utiliza energia hidroelétrica e gás natural, verifica-se que os parâmetros relacionados à sua geração sofreram aumento, quando se observa a cadeia produtiva como um todo; e
- os estudos de ACV são iterativos e dinâmicos. Os dados sempre podem ser refinados, substituídos ou complementados com informações mais atualizadas, retratando cada vez melhor o desempenho ambiental do setor analisado. A partir deste estudo, a CSN passa a dispor de informações básicas e de modelos que permitirão avaliar e interpretar situações específicas do setor produtivo de aço por ACV.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FINEP pelo apoio financeiro e à Companhia Siderúrgica Nacional pelo apoio financeiro e pela disponibilização das informações.

REFERÊNCIAS

- 1 COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. **Latas de aço**: o mercado para a reciclagem. Fichas técnicas. Disponível em: <www.cempre.org.br/fichas_tecnicas.php?lnk=ft_latas_aco.php>. Acesso em: 12 fev. 2010.
- 2 STEEL RECYCLING INSTITUTE. **The inherent recycled content of today's steel**. Disponível em: <<http://www.recycle-steel.org>>. Acesso em: 25 junho 2003.
- 3 OLLIE RECYCLES. **Corus steel packaging recycling**. Disponível em: <<http://www.ollierecycles.com/uk/html/corus.html>>. Acesso em: 17 junho 2003.
- 4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040**: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009. 21 p.
- 5 COLTRO, L.; GARCIA, E.E.C.; QUEIROZ, G.C. Inventário do ciclo de vida do sistema de energia elétrica no Brasil. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Germany, v. 8, n. 5, p. 290-296, 2003.
- 6 PIRA INTERNATIONAL. **PEMS 4**: manual do utilizador. Leatherhead: PIRA, 1998.
- 7 INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2000**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/condicaodevida/pnsb/pnsb.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2007.
- 8 CENTRO DE TECNOLOGIA DE EMBALAGEM. **Avaliação do ciclo de vida de embalagens metálicas**: Relatório CETEA P006-3/03. Interessado: Companhia Siderúrgica Nacional - CSN. Campinas: CETEA/ITAL, 2007. Paginação variada. Relatório confidencial.
- 9 COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. **Latas de aço**: o mercado para a reciclagem. Fichas técnicas. Disponível em: <www.cempre.org.br/fichas_tecnicas_latas_aco.php>. Acesso em: 12 out. 2006.
- 10 METALIC BRASIL. **Índice de reciclagem**. Disponível em: <http://www.csn.com.br/portal/page?_pageid=515,203442&_dad=portal&_schema=PORTAL>. Acesso em: 18 jan. 2006.
- 11 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO14044**: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009. 46 p.