

Avaliação do ciclo de vida do alumínio primário utilizando o software OpenLca

Life cycle assessment of the primary aluminum using the openlca tool

Marcio Burger MANSILHA [1](#); Felix Alberto FARRET [2](#); Leandro Cantorski da ROSA [3](#)

Recibido: 04/04/2017 • Aprobado: 28/04/2017

Conteúdo

[1. Introdução](#)

[2. Metodología](#)

[3. Resultados](#)

[4. Conclusões](#)

[Referências bibliográficas](#)

RESUMO:

O presente trabalho trata da avaliação do ciclo de vida do alumínio primário utilizando o software OpenLCA. Para a realização da pesquisa foi feita uma revisão bibliográfica a respeito da avaliação do ciclo de vida. Num segundo momento, traça os resultados de estudos realizados com o software Gabi e SimaPro. Após, foi realizada a análise do impacto do ciclo de vida utilizando-se o software OpenLCA.

Palavras-chave: Avaliação ciclo de vida; produção de alumínio primário; ACV software

ABSTRACT:

This paper deals with the life cycle assessment of primary aluminum using the OpenLCA software. For the research was done a literature review about the life cycle assessment. Secondly, outlines the results of studies with Gabi and SimaPro software. After the analysis of the impact of the life cycle using the software OpenLCA was performed.

Keywords: Life cycle assessment; primary aluminium production; LCA software

1. Introdução

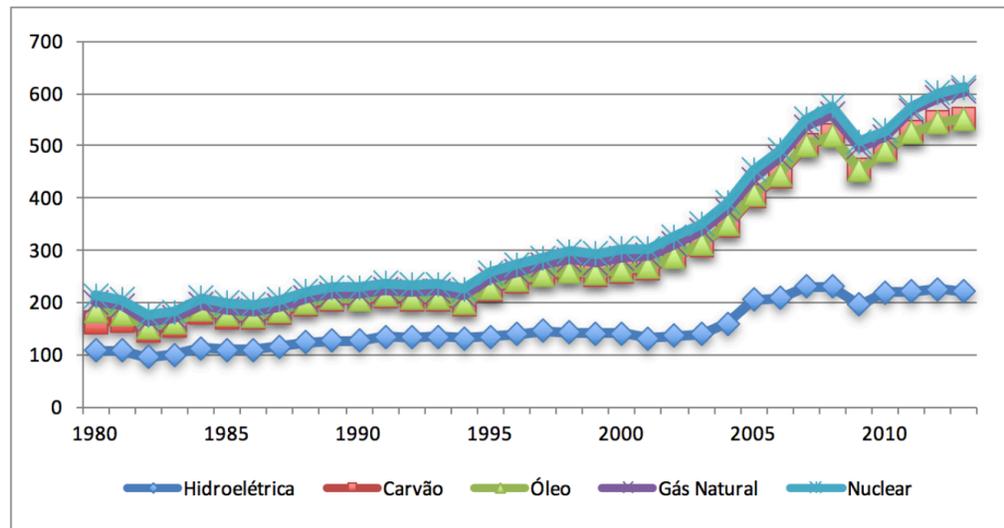
A exploração de minérios e metais, em especial o alumínio continuam em crescimento, emitindo grandes quantidades de poluentes. O alumínio é o terceiro elemento mais encontrado e o mais abundante entre os elementos metálicos (CARDOSO, 2011). Todo o produto provoca um impacto no meio ambiente, seja em função de seu processo produtivo, das matérias-primas que consome, ou devido ao seu uso.

Um método bastante utilizado internacionalmente para a avaliação dos impactos ambientais é a avaliação do ciclo de vida (ACV). Esse método é uma ferramenta para calcular o impacto ambiental dos produtos e/ou dos sistemas durante as diferentes fases do ciclo de vida (CARLEN, 2011). Serve como auxílio na tomada de decisão para escolha de processos e produção de determinados produtos, sempre considerando os impactos causados ao meio ambiente. Para assegurar a qualidade e a consistência da ACV utilizam-se as normas da série da ISO 14000. Chehebe (1998) esclarece que a ACV é uma ferramenta técnica, de caráter gerencial que, além de outras aplicações, propõe-se a contribuir para a forma mais consistente de decisão, avaliando os aspectos ambientais e os impactos potenciais associados a um produto. A metodologia ACV é a única que permite a identificação da transferência de impactos ambientais de um meio para outro e/ou de um estágio de ciclo de vida para outro. (FERREIRA, 2004). Em razão dos impactos ambientais e da busca pela melhor utilização dos recursos naturais, tem sido realizado estudos da ACV dos produtos, consistindo em balanços materiais e energéticos, analisando-se desde a extração da matéria-prima até a sua destinação final, com o objetivo de conhecer o produto e seu impacto no meio ambiente. Os resultados obtidos na ACV podem resultar em redução de impacto no meio ambiente, haja vista que é possível constatar os maiores impactos. O novo padrão de mercado exige uma produção mais limpa e preocupada com a redução de agressões ao meio ambiente. Diante da importância que o tema apresenta o objetivo da pesquisa é a realização de uma análise exploratória preliminar da literatura da ACV, dos softwares, métodos e base de dados que vem sendo utilizados para ACV do alumínio primário. Neste contexto, busca-se a resposta a seguinte indagação: quais os critérios, softwares, métodos e base de dados utilizados para ACV do alumínio primário?

1.1. Alumínio

Os persas a 6000 a.C. já fabricavam potes de argila que continham óxido de alumínio. Em 1821 ocorreu a descoberta da bauxita, o minério mais comum de alumínio e, 1825 o físico dinamarquês Hans Christian Oersted consegue isolar o alumínio a partir do cloreto de alumínio na forma que conhecido hoje (ABAL, 2014). O alumínio não é encontrado diretamente em estado metálico. A mineração da bauxita deve apresentar no mínimo de 30% de óxido de alumínio (alumina) para que seja viável economicamente. É encontrada principalmente na Austrália, América latina e África. Após extraída, segue para etapas de refinaria e redução. A redução da alumina calcinada é realizada em cubas eletrolíticas em altas temperaturas no processo conhecido como Hall-Héroult (ABAL, 2014). Os dados históricos de 1980 a 2012 do consumo energia em Gigawatt Hora (GWh) para fundição do alumínio primário no mundo conforme *The International Aluminium Institute* é mostrado na figura 1.

Figura 1 - Consumo de energia



Fonte: Adaptado de The International Aluminium Institute (2014)

Na Austrália a produção anual de bauxita (29,5 milhões de toneladas ano), consiste de aproximadamente de 50% de óxido de alumínio e 50% de várias outras impurezas. O lodo vermelho que é o rejeito do processo de obtenção da alumina é de 2 toneladas para cada tonelada de alumina. Isso representa um aumento potencial da ameaça ao meio ambiente em termos gerenciamentos dos resíduos sólidos, uma vez que a demanda por alumínio vem crescendo (TAN, 2005). O processo Bayer foi desenvolvido para atender a necessidade da indústria têxtil, contudo ganhou importância para obtenção do alumínio metálico com a sua associação ao processo eletrolítico. É a rota comercial mais importante para a purificação da bauxita (CONSTANTINO, 2002).

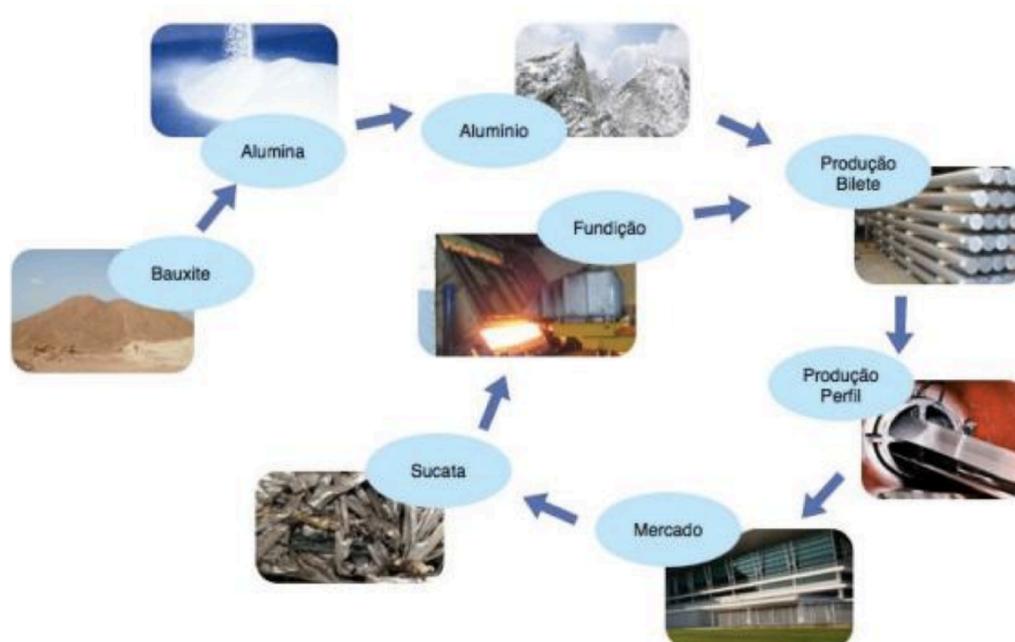
1.2. Avaliação do ciclo de vida (ACV)

Existe uma conscientização ambiental na escolha dos materiais, observando-se critérios de preservação, recuperação e responsabilidade ambiental. A ACV é conhecido internacionalmente por LCA (*Life cycle assessment*), consistindo num instrumento de avaliação do impacto ambiental associado a um produto ou processo que compreende etapas que vão desde a retirada das matérias-primas elementares da natureza que entram no sistema produtivo (berço) à disposição do produto final após o uso (túmulo) (CHEHEBE, 1998). O objetivo de uma ACV refere-se a aplicação pretendida, razões para a execução do estudo, o público-alvo e se existe a intenção de utilizar os resultados em afirmações comparativas. O processo ACV é composto de quatro componentes: definição de objetivos, análise de inventário, análise de impacto e interpretação dos resultados. A ACV é uma técnica iterativa e conforme as informações são coletadas, vários aspectos do escopo podem exigir modificações para atender o objetivo inicial (ABNT, 2009). Um estudo de ACV é dividido em quatro fases: a) definição do objetivo e escopo: sendo definido o propósito do estudo e sua amplitude, envolvendo decisões sobre as fronteiras e a unidade funcional; b) análise do inventário: em que são levantadas informações sobre o sistema do produto, entradas e saídas consideradas relevantes para o sistema; c) avaliação dos impactos: considerando os dados e as informações gerados da Análise de Inventário associando-se a impactos ambientais específicos, de forma a avaliar os impactos potenciais e; d) fase de interpretação: combina-se e interpreta-se os resultados obtidos nas fases de análise de Inventário e de avaliação de Impacto de acordo com os objetivos definidos previamente no estudo (CETEA, 2007). A *International Organization for standardization (ISO)* estabelece uma estrutura de trabalho, metodologias e procedimentos que apoia ACV. No Brasil, em relação a ACV estão em vigor as normas ABNT NBR ISO 14040: 2009 e ABNT NBR ISO 14044:2009. As normas ISO definem requisitos gerais para a condução de ACV's estabelecem critérios éticos para a divulgação dos resultados ao público. Chehebe esclarece:

O propósito dessas normas é fornecer às empresas ferramentas para a tomadas de decisão bem como a avaliação de alternativas sobre métodos de manufatura. Elas pode, também, ser usadas para dar apoio às declarações de rótulos ambientais ou para selecionar indicadores ambientais(1998, p. 9).

A ISO 14040 aborda a estrutura geral e princípios para conduzir e relatar estudos da ACV. Já a ISO 14044 estabelece os requisitos e orientações para a ACV. Uma questão crítica na realização da ACV é a definição dos dados de inventário de confiança (YOSHIDA, 2014). Nos países desenvolvidos existem bancos de dados de inventários de ciclo de vida sobre vários produtos. A análise de inventário refere-se a fase da coleta e da quantificação de todas as variáveis envolvidas durante o ciclo de vida de um produto, processo ou atividade. Algumas atividades devem ser observadas para a análise do inventário: preparação para a coleta de dados, coleta de dados, refinamento dos limites do sistema, determinação dos procedimentos de cálculo e procedimentos de alocação (CHEHEBE, 1998). Para o estudo de ACV existem *softwares* como SimaPro, OpenLCA e GaBi, bem como base de dados disponíveis como Ecoinvent, KCL Ecodata e NREL LCI database que tornam a análise mais precisa e rápida. Utilizando-se as ferramentas existentes e tendo-se conhecimento do processo produtivo é possível ter uma visão crítica do que ocorre ao longo do ciclo de vida do produto (FRANCISCO, 2013). O ciclo de vida típico do alumínio primário e suas diferentes etapas conforme figura 2.

Figura 2 Ciclo de vida do alumínio



Fonte: Grupo Sapa (2015)

Para precisar o ciclo de vida do alumínio primário são utilizados diferentes softwares que estão disponíveis no mercado. No presente estudo, foi feita uma análise da utilização do software Gabi utilizado no relatório Europeu da Indústria do Alumínio de abril de 2013, uma análise da utilização

do software SimaPro LCA 5 num estudo de caso realizado na Austrália e um estudo com o software OpenLCA. Além de diferentes softwares, há diversos métodos para avaliação de impacto de ciclo de vida (AICV), sendo que, quando mais de um método é utilizado mais categorias de impacto serão cobertas.

O software GaBi é uma ferramenta de ACV com uma base de dados independente para análise de sustentabilidades, com objetivo para construir balanços de ciclo de vida. Esse sistema suporta a manipulação com grande quantidade de dados e com modelação do ciclo de vida do produto (ZOLDAN, 2008).

O software SimaPro 5 consiste em uma ferramenta comercial para coletar dados e analisar o desempenho ambiental de produtos e serviços, podendo modelar e analisar ciclos de vida complexos de uma forma sistemática e transparente, seguindo as recomendações da série ISO 14040 (TAN, 2005).

O software OpenLCA é um software livre, utilizado na ACV, possui uma ampla gama de características e dispõe de uma grande base de dados. Sendo um software de código aberto pode ser modificado por qualquer pessoa (OPENLCA, 2014).

A ACV tem como objetivo medir o impacto ambiental, quantificar os benefícios da implementação de operações mais sustentáveis. Nos três casos analisados o escopo do estudo começa na extração da bauxita e termina com lingotes de alumínio como o produto; os principais processos são: refinaria, a redução do alumínio, fundição; o fornecimento de energia para a cadeia foi incluída no sistema analisado; os meios de transporte dentro da cadeia de fornecimento estão incluso no sistema. Baseado no escopo o modelo pode ser caracterizado como do berço ao portão. Os casos analisados são os seguintes:

a) Caso 1 - Software Gabi 5: utilizado no relatório Europeu da Indústria do Alumínio de abril de 2013; O relatório foi estruturado de forma lógica, iniciando com uma descrição do ciclo de vida do alumínio, descrição do projeto, produção primária do alumínio, incluindo a mineração da bauxita, produção da alumina e eletrólise com o modelo de eletricidade.

Entre os aspectos apontados para aprimorar no próximo estudo, destacam-se: a inclusão de inventário da mineração da bauxita; aprimoramento do tratamento do lixo sólido e líquido

(com destaque para os resíduos da bauxita); melhorar a consistência com a estrutura ISO; estender a análise para compreender um ciclo de vida sustentável; contribuir para redução do óleo pesado utilizado na produção de alumina (EUROPEAN, 2013). Os dados para a ACV do alumínio primário na indústria europeia foram coletados em 2010, sendo que o relatório foi consolidado em abril de 2013. Os dados do inventário seguiram as regras da ISO 14040 e 14044 e utilizado o software Gabi versão 5. O método de AICV foi o método holandês CML 2001, que restringe a modelagem quantitativa das fases iniciais da cadeia na causa e efeito de forma a limitar as incertezas. Os resultados são agrupados em categorias de acordo com o ponto médio de mecanismos comuns ou a partir de agrupamentos comumente aceitos (GaBi, 2010).

b) Caso 2 - Software SimaPro 5: utilizado em um estudo de caso realizado na Austrália. Para ACV do alumínio primário na Austrália, foi utilizado o software SimaPro 5. No método de AICV o método EDIP / UMIP 96 foram adotados para os cálculos (i) Potencial Aquecimento Global, (ii) acidificação, (iii) Toxicidade Humana pelo ar, (iv) recursos, e (v) Resíduos granel. O método EDIP / UMIP de origem dinamarquesa utiliza uma abordagem *midpoint*, focando nos diferentes temas ambientais de categorias de impacto, parando no ponto das trocas ambientais. O método holandês CML 2001 também utiliza abordagem *midpoint*. Na conclusão da pesquisa realizada percebe-se estratégias tangíveis para melhorar o ciclo de vida do alumínio primário desde a mineração até sua produção final. O processo de conversão da bauxita em alumina e alumina em alumínio são processos energéticos muito intensos. Apesar de existir algumas limitações no processo do ACV foi possível constatar que é de grande valia o investimento no método sistemático de ACV como uma ferramenta para viabilizar uma produção mais limpa.

c) Caso 3 - Software OpenLCA: uma avaliação do alumínio primário foi realizado conforme apresentado na metodologia.

2. Metodologia

Foi feita uma ACV do alumínio primário com software OpenLCA, utilizando-se o método CML 2001 para AICV. O estudo foi realizado importando o banco de dados do U.S. NREL LCI data base inventário dos Estados Unidos: O Laboratório Nacional de Energia Renovável (NRE - *National Renewable Energy Laboratory*). As fontes para modelagem e a validação foram: *Energy Information Administration (EIA) 2002; Franklin Associates, a Division of ERG 2007; IAI Statiscal Report: eletrical Power 2003; The Aluminum Association 1998; US EPA 2002; US Geological Survey 2004 (NATIONAL, 2014)*.

No quadro 1 apresenta-se as diferenças entre os casos analisados:

Quadro 1 – Diferenças entre os casos analisados

Diferenças	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Metodologia LCIA	CML 2001	EDIP / UMIP 96	CML 2001
Ferramenta de Modelagem	GaBi 5 software	SimaPro 5	Open LCA
Principais fontes de dados	GaBi & ELCD data	Não informado	U.S. NREL LCI

Para a descrição do processo foi construída uma planilha de balanços de massa e energia, calculando-se automaticamente a geração de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões gasosas. A ACV gera um banco de informações que também permite comparar as entradas e saídas de um sistema associadas a produtos alternativos, processos ou atividades (CHEHEBE, 1998). Com o processo, sistema do produto, o inventário do ciclo de vida (ICV) e a AICV do alumínio primário analisou-se a modelagem.

3. Resultados

Utilizando-se o software Open LCA foi gerado, inicialmente, uma lista apresentando as entradas e saídas para se chegar ao alumínio primário. Com o inventário do ciclo de vida do alumínio primário utilizou o método CML 2001 para a AICV. Analisando-se as entradas desde a matéria – prima: bauxita, verifica-se que para 1 quilo de alumínio primário foram necessários 5,0952 quilos de bauxita. Conforme Silva (2014) a caracterização é um procedimento obrigatório da AICV que representa o cálculo dos resultados dos indicadores de categoria de impacto ambiental. No quadro 2 com a caracterização dos resultados da AICV, percebe-se, por exemplo, a variabilidade dos resultados quanto ao potencial de acidificação (AP) e quanto ao potencial de aquecimento global (GWP) nos casos analisados.

A interpretação é a fase da ACV que detecta os pontos significativos com base nos resultados do inventário do ciclo de vida e da AICV.

Quadro 2. Caracterização dos resultados da AICV dos casos.

	caso 1		caso 2	caso 3
	“produzido na	“importado para Europa”	“produzido na Austrália”	“produzido nos EUA”

Indicadores (por tonelada)	Europa" GaBi 5	GaBi 5	SimaPro 5	OpenLCA
Depleção Abiótica (ADP) [kg Sb-Equiv.]	4,11E-03	4,87E-03	Não Informado	0
Potencial Acidificação (AP) [kg SO2-Equiv.]	3,28E+01	4,73E+01	9,06E+01	7,60E+00
Potencial Eutrofização (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	1,91E+00	2,48E+00	Não Informado	1,60E+01
Potencial aquecimento global (GWP 100 anos) [kg CO2-Equiv.]	8,48E+03	8,75E+03	1,83E+04	6,55E+03
Depleção do Ozônio Estratosférico (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	4,43E-04	2,57E-04	Não Informado	8,01E-07
Formação Fotoquímica de Ozônio (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	2,06E+00	2,75E+00	Não Informado	8,31E-02

Fonte: Autor

A figura 3 detalha os resultado referente a contribuição do impacto, potencial de acidificação do caso 3 que foi realizado com o software OpenLCA. Esta categoria de impacto é consequência do aumento de acidez no ar, na água ou no solo, originado pela emissão de resíduos ácidos, na qual é medida em relação ao efeito de 1 kg de dióxido de enxofre (SO2) (SILVA,2014).

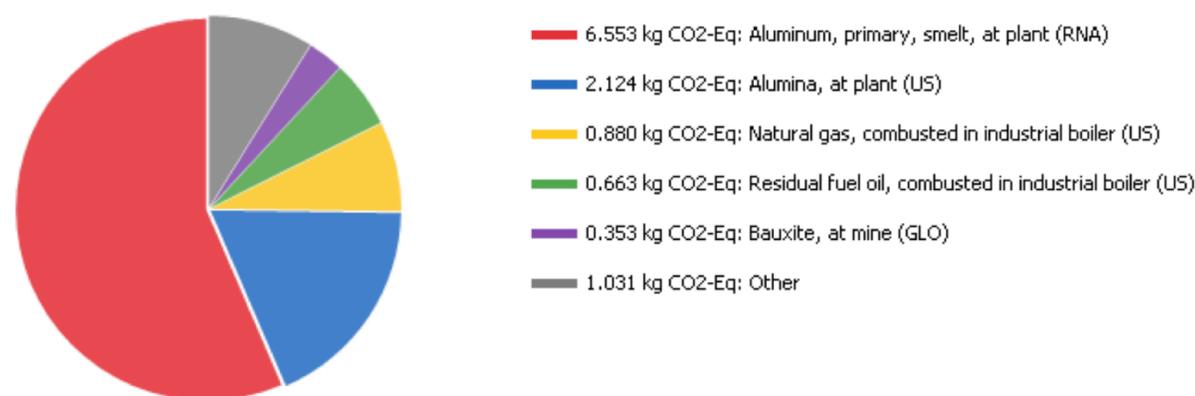
Figura 3 – Categoria de impacto, potencial de acidificação (AP)



Fonte: Autor

A figura 4 apresenta o resultado encontrado na análise com software OpenLCA na categoria de impacto potencial de aquecimento global para 100 anos. Nesta categoria de impacto esta sendo analisado o crescimento da capacidade de retenção de radiação infravermelha na estratosfera, criado pelo elevação de determinado gases CO2, NO2, CH4 e CFCs (medida em relação ao efeito de 1 kg de CO2) (SILVA,2014).

Figura 4 - Categoria de impacto , potencial de aquecimento global (GPW 100 anos)



Fonte: Autor

4. Conclusões

Pela pesquisa realizada verificou-se a existência de diferentes softwares para a ACV, como, por exemplo: GaBi, SimaPro e OpenLCA. Além disso, existe várias metodologias que podem ser aplicadas para análise dos inventários do ciclo de vida.

O software OpenLCA no qual foi realizado a pesquisa possui a vantagem de ser uma ferramenta gratuita e de fácil operação, porém, o acesso a banco de dados atualizados gratuitos é um problema. A análise de outros estudos de caso teve por objetivo verificar a qualidade do estudo com o uso do software OpenLCA.

Constata-se diferentes variantes no resultado final, quando comparado aos demais estudos de casos, talvez em razão do ano em que foi realizado o estudo, já que, cada software utilizou um ano diferente para coleta do banco de dados. A variante, também, pode se justificar em relação ao local da avaliação pelas questões de distância, transporte, uso de energia, forma de energia utilizada, país produtor de bauxita X país importadores de alumínio. Referidos fatores, bem como outros, impactam significativamente na ACV do alumínio primário.

A ACV tem ajudado as empresas a avaliar seus produtos de forma mais sustentável, porém a variabilidade nos resultados, quando se busca comparar estudos realizados tem se mostrado um obstáculo a ser superado. O conhecimento sobre os diferentes softwares é imprescindível, pois

denota o uso correto das ferramentas para não tomar decisões imprecisas sobre o impacto ambiental.

No processo de obtenção do alumínio há uma geração de resíduos sólidos sem aproveitamento que, com o aumento da produção do alumínio, tendem a se tornar ainda mais nocivos ao meio ambiente. Neste sentido, medidas devem ser estudadas e implementadas a fim de reduzir referidos impactos.

Referências bibliográficas

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040:2009**. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro. 2009.

ABAL. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMINIO**. São Paulo. 2014. Disponível em: < <http://www.abal.org.br/> > . Acesso em 19 de abr. 2014.

ANDRADE, M. L.; et. al. **A cadeia produtiva do Cobre: Panorama Internacional e Nacional**. BNDES: Mineração e metalurgia. 1997. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Publicacoes/Consulta_Expressa/Setor/Mineracao_e_Metalurgia/199709_7.html>. Acesso 27 abr. 2014.

ANDRADE, M. L. **O cobre brasileiro em ascensão no cenário mundial**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 13, p. 65-94, mar. 2001. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set1302.pdf>. Acesso em 27 abr. 2014.

CARDOSO, J. G. R; et. Al. **A indústria do alumínio: estrutura e tendências**. BNDES Setorial 33, p. 43-88, 2011. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3302.pdf>. Acesso 19 abr. 2014.

CARLEN, M; et. Al. Life cycle assessment of dry-type and oil-immersed distribution transformers with amorphous metal core. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION, 21, Junho 2011, paper 1145. Frankfurt. **Anais CIRED**. Disponível em: <http://www.cired.net/publications/cired2011/part1/papers/CIRED2011_1145_final.pdf>. Acesso em 18 abr. 2014.

CETEA/ITAL. **Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão**. Leda Coltro (Org.) Campinas:CETEA/ITAL. 2007. Disponível em: <http://www.cetea.ital.sp.gov.br/figs/ACV_como_Instrumento_de_Gestao-CETEA.pdf>. Acesso em 29 abr. 2014.

CHEHEBE, José Ribamar B. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: QualityMark, 1998. 104 p.

CONSTANTINO, V.R.L.; et. Al. Preparação de compostos de alumínio a partir da bauxita: considerações sobre alguns aspectos envolvidos em um experimento didático. **Química Nova**, Vol. 25, No. 3, 490-498, 2002.

EUROPEAN ALUMINIUM ASSOCIATION. **Environmental Profile Report for the European Aluminium Industry**. April 2013. Disponível em: < <http://www.alueurope.eu/wp-content/uploads/2011/10/Environmental-Profile-Report-for-the-European-Aluminium-Industry-April-2013.pdf>>. Acesso em 20 jun. 2014.

FERREIRA, J.V.R. **Gestão ambiental: análise do ciclo de vida dos produtos**.

(ESTV/IPV) Instituto Politécnico de Viseu, Viseu. 2004. Disponível em: <<http://www.estgv.ipv.pt/paginaspessoais/jvf/gestao%20ambiental%20-%20análise%20de%20ciclo%20de%20vida.pdf>>. Acesso 18 abr. 2014.

FRANCISCO, A.C, et. al. Inovação e Avaliação do Ciclo de Vida no Contexto Sustentável. **4th Internacional Workshop Advances in Cleaner Production: Integrating cleaner production into sustainability strategies**. São Paulo: 2013.

ISO. INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Genebra. Disponível em: <<http://www.iso.org/iso/home/standards.htm>>. Acesso em 26 abr. 2014.

GaBi Software. **Description of the CML 2001 Method**. Disponível em: < <http://www.gabi-software.com/support/gabi/gabi-6-lcia-documentation/cml-2001-nov-2010/>>. Acesso em 26 jun. 2014.

GRUPO SAPA. **Ciclo de vida Alumínio**. 2015 . Disponível em: < <http://www.sapagroup.com/pt/sapa-ii-perfis-sa/aluminio/ciclo-vida-aluminio/>>. Acesso em: 04 mar. 2015

KUPFERINSTITUT DEUTSCHES KUPFERINSTITUT. **Düsseldorf**. 2014. Disponível: < <http://www.kupferinstitut.de>>. Acesso 26 abr. 2014.

LME **London Metal Exchange**: <<http://www.lme.com/copper.asp>>. Acesso 19 abr. 2014.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. **Data Discovery**. Disponível em: < <https://www.lcacommons.gov/nrel/search>>. Acesso em 28 jun. 2014.

OPENLCA Software. **The openLCA Project**. Disponível em: < <http://www.openlca.org/home>>. Acesso em 26 jun. 2014.

SILVA FILHO, E.B, et. al. Lama vermelha da indústria de beneficiamento de alumina: produção, características, disposição e aplicações alternativas. **Revista Matéria**. vol.12 n. 2. Rio de Janeiro, 2007.

SILVA, G. A.; et. al. Avaliação do ciclo de vida : ontologia terminological. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia- Ibict, Brasília: 2014. 52 p.

TAN, R.B.H., KHOO, H.H. An LCA study of a primary aluminum supply chain **Journal of Cleaner Production** 13, 2005, 607-618.

THE INTERNATIONAL ALUMINIUM INSTITUTE. **Londres**. 2014. Disponível em: < <http://www.world-aluminium.org>>. Acesso em 26 abr. 2014.

YOSHIDA, H; et. Al. Influence of data collection schemes on the Life Cycle Assessment of a municipal wastewater treatment plant. **Water Research**. Dinamarca, n. 56, p. 292-303, 2014.

ZOLDAN, M. A. **Análise dos Requisitos organizacionais para a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de Produtos Madeiros**. 2008 .Dissertação (Mestrado – Engenharia de Produção) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Ponta Grossa, 2008.

1. Doutorando em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), e-mail: mbmansilha@gmail.com
2. PhD em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), email: fafarret@gmail.com
3. Doutor em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), email: leski78@hotmail.com