

VI-054 - AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE COMPONENTES DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Hugo Henrique de Simone Souza⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Mestrando em Meio Ambiente, Águas e Saneamento pela Universidade Federal da Bahia (UFBA).

Adelmo Menezes de Aguiar Filho⁽²⁾

Graduando em Engenharia Química pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Possui formação técnica em operação de processos industriais e químicos pelo Instituto Federal da Bahia (IFBA).

Karla Patrícia Santos Oliveira Rodríguez⁽³⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Mestre e Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Pós-doutora em Engenharia Sócio-Ambiental pela Hokkaido University (Hokudai, Japão). Professora do Departamento de Engenharia Química e do Programa de Pós Graduação em Engenharia Industrial da Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia.

Maria de Lourdes de Almeida Silva⁽⁴⁾

Engenharia Eletricista pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Funda Centro. Especialista em Consultoria Organizacional pela CONSENSO. Pesquisadora da Rede de Tecnologias Limpas e Minimização de Resíduos (TECLIM/UFBA).

Asher Kiperstok⁽⁵⁾

Engenheiro Civil pela TECHNION, Israel Institute of Technology. MSc. e PhD em Engenharia Química, Tecnologias Ambientais pela University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST, Inglaterra). Coordenador da Rede de Tecnologias Limpas e Minimização de Resíduos (TECLIM) e do Programa de Pós Graduação em Produção Limpa – Departamento de Engenharia Ambiental, (EP/UFBA).

Endereço⁽¹⁾: Rua Aristides Novis, 02 - Universidade Federal da Bahia - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Federação - Salvador - BA - CEP: 40210-630 - Brasil - Tel: (71) 9308-7709 - e-mail: hugohenriquesouza@gmail.com

RESUMO

A utilização de redes aéreas de distribuição de energia elétrica é amplamente difundida em todo o mundo. Neste trabalho foram identificados e quantificados os potenciais impactos ambientais que envolvem este sistema. O estudo abrange desde a etapa de extração das matérias primas até a disposição final de cinco componentes, sendo eles: postes, condutores, cruzetas, isoladores e as ferragens. O levantamento de dados ocorreu através de pesquisas bibliográficas e documentais, bem como por meio de visitas técnicas nos Estados de São Paulo e Bahia. Estes dados formaram o Inventário de Ciclo de Vida, que foi organizado diante das etapas de produção e instalação, uso e manutenção e decomissionamento. Com isso, foi possível através do *software* GaBi 4, realizar o balanço entre as entradas e saídas dos processos, e selecionar as categorias de impacto ambiental mais relevantes. A etapa de produção e instalação dos equipamentos foi a principal responsável pelas emissões de CO₂ da categoria de Aquecimento Global. Ainda, os postes de concreto foram apontados como o componente que mais contribui para este quadro, provavelmente pelo uso do cimento durante a produção do concreto. Diante disto foi proposta a análise da utilização do poste de madeira como substituto, para verificação dos seus potenciais impactos ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação do Ciclo de Vida, Distribuição de Energia Elétrica, Aquecimento Global, Impacto Ambiental.

INTRODUÇÃO

A energia elétrica é parte integrante da vida moderna e indispensável ao progresso econômico, contribuindo para a satisfação das necessidades e desejos dos consumidores, possibilitando-lhes uma enorme variedade de serviços que gera uma demanda cada vez maior deste recurso. Basicamente, para a energia elétrica chegar até os consumidores, desenvolve-se os sistemas de geração, transmissão e distribuição.

Diante da grande demanda do sistema de distribuição de energia elétrica no âmbito global, e da necessidade de repensar o desenvolvimento de modo a garantir a sobrevivência das futuras gerações e introduzir no atual sistema produtivo a visão do desenvolvimento sustentável, destaca-se a importância da ferramenta de avaliação do ciclo de vida (ACV), padronizada pela série ISO 14040, de fundamental importância para mudar o consumo insustentável e os padrões de produção.

No início as escolhas dos equipamentos eram baseadas na avaliação do desempenho econômico de diferentes produtos bem como no planejamento da manutenção. Com o paradigma do desenvolvimento sustentável, este quadro ganha novas dimensões, representadas pelos aspectos ambientais e sociais relacionados aos produtos. Compreender, quantificar e comunicar a sustentabilidade de produtos é parte da solução para a redução contínua de seus impactos e consequente aumento de benefícios para a sociedade (UNEP, 2011).

Cada produto tem uma “vida”, começando com o projeto e desenvolvimento do produto, seguido pela extração de recursos, a produção (de materiais, bem como a fabricação do produto), o uso ou consumo, e, finalmente, o final da vida útil (envolvendo atividades de coleta ou triagem, reutilização, reciclagem, tratamento de resíduos). Todas as atividades, ou processos, envolvidas no ciclo de vida do produto resultantes em impactos ambientais devido ao consumo de recursos, emissões de substâncias para o ambiente natural, e outros tipos, devem estar bem representadas (REBITZER, 2004).

A crescente preocupação com as questões ambientais, resultante de exigências legais, demandas sociais e mais recentemente, por estratégias de negócios têm levado as empresas a atuarem de forma mais responsável, adotando programas de melhoria de desempenho ambiental.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi aplicada a ferramenta ACV com o suporte do *software* GaBi 4 e seguindo a estrutura metodológica recomendada nas Normas da Série ISO 14040, com as quatro fases padronizadas, porém buscando a melhoria da qualidade de informação a partir do “cone invertido”.

Devido ao grande volume de informações necessárias em estudos de ACV e, ao fato de nem sempre tê-las disponíveis, a maior parte do tempo alocado à pesquisa foi gasto na busca de informações. Neste sentido, esta metodologia representada na figura 1, visa garantir a qualidade dos dados e a continuidade dos trabalhos ao longo da linha do tempo conforme o grau de incerteza do estudo vai sendo reduzido. Desta maneira, conforme houver tempo disponível para aprimorar as fronteiras do estudo, novas rodadas foram executadas com o objetivo de melhorar a análise.

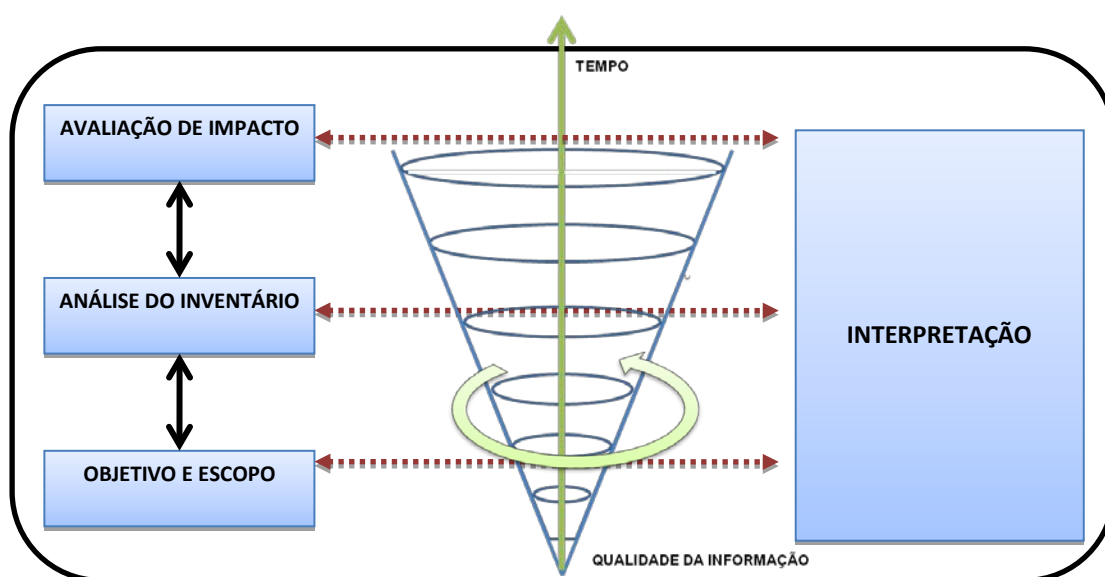


Figura 1: Desenho esquemático do cone invertido, dentro das etapas padronizadas da ACV.

Fonte: Kiperstok *et al.* (2009).

Os tipos e quantitativos dos componentes foram definidos segundo normas do sistema de distribuição de energia elétrica, e selecionados por profissionais especializados, de acordo com sua relevância, sendo eles:

- Condutor: considerados os condutores aéreos nus, constituídos de alumínio (CA), alumínio com alma de aço (CAA) e cobre (CU);
- Poste: considerado postes de concreto Duplo T (DT), com comprimento igual a 11 m e esforço 400 kgf para a rede em 15 kV e comprimento 12 m e esforço 600 kgf para a rede em 34,5 kV;
- Cruzetas: incluídas as cruzetas de concreto e madeira;
- Isoladores: considerados os isoladores de porcelana e polímeros;
- Ferragens: composta por mão francesa, alça pré formada, parafuso, olhal para parafuso, manilha sapatilha, pino isolador reto, arruela quadrada e gancho suspensão.

Com o objetivo de efetuar coleta de dados, como também, conhecer os processos de fabricação, foram realizados levantamentos bibliográficos e documentais, visitas técnicas a fabricantes e concessionária de energia elétrica no período de 2006/2007. Desta maneira o estudo foi composto por dados primários e secundários.

As visitas técnicas ocorreram conforme demonstrado na tabela 1.

Tabela 1: Localizações das visitas técnicas para o levantamento de dados primários

Componente	Localização
Isolador Porcelana	Pedreiras/SP
Isolador Polimérico	Pedreiras/SP e Cajamar/SP
Condutor	Santo André/SP
Poste e Cruzeta	Camaçari/BA e Aratu/BA
Ferragens	Cajamar/SP e Camaçari/BA

Para facilitar a interpretação dos resultados, a ACV foi estruturada em quatro planos: Rede de Distribuição Urbana (RDU) 15kV, Rede de Distribuição Rural (RDR) 15kV, RDU 34,5 kV e RDR 34kV.

As etapas do ciclo de vida dos produtos foram divididas da seguinte maneira:

- Produção e instalação;
- Uso e manutenção e;
- Decomissionamento.

A Unidade Funcional foi estabelecida como: 1 km de rede aérea de distribuição de média tensão, durante 20 anos. Os subsistemas estudados encontram-se definidos na figura 2.

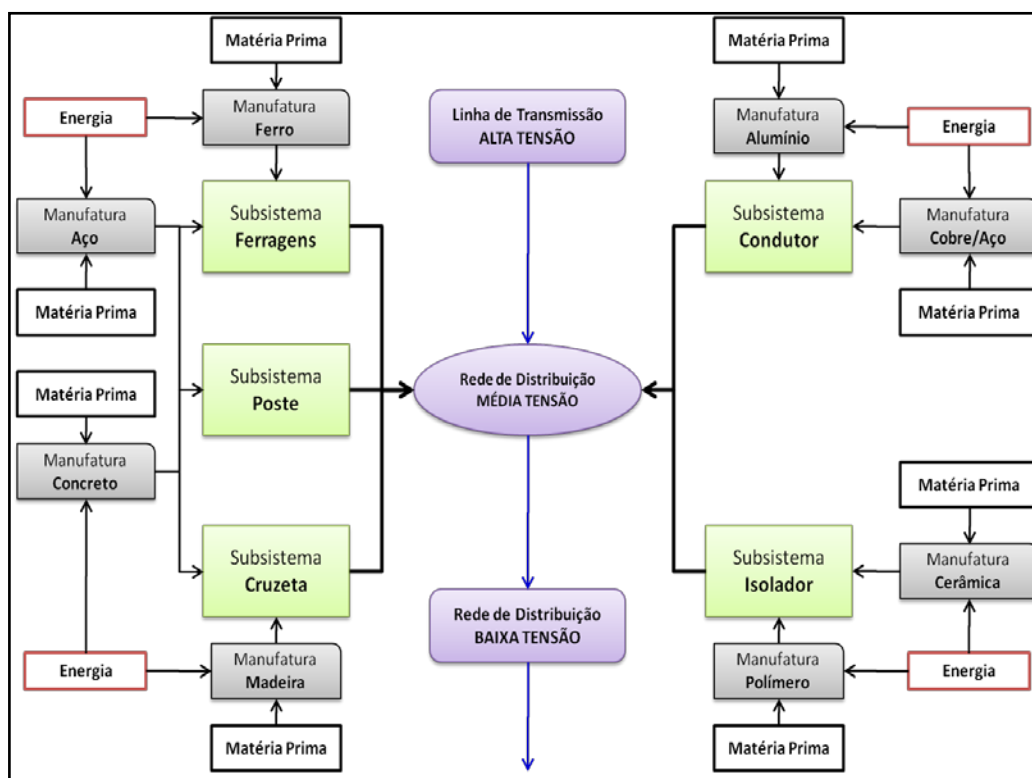


Figura 2: Subsistemas incluídos para compor a rede de distribuição de média tensão.

Fonte: Kiperstok et al. (2009).

As redes urbanas e rurais têm estruturas diferenciadas considerando as cargas envolvidas e as normas estabelecidas nos critérios de projeto. A rede rural representa maior extensão devido a dimensões territoriais do Estado da Bahia.

A determinação da extensão do vão (distância entre dois postes) foi realizada considerando a análise estatística descritiva, via histograma e média dos valores do comprimento dos condutores entre dois postes subsequentes, obtendo o valor do comprimento do vão urbano igual a 40 m e do vão rural igual a 94 m.

Com isso, o quantitativo dos componentes para 1 km de RD foi obtido em função do comprimento do vão, totalizando 25 postes na RDU e 11 postes na RDR. Os demais componentes são vinculados aos postes, por isso foram quantificados dentro deste padrão estabelecido. A quantificação se deu através de dados mássicos.

O transporte foi analisado neste estudo considerando como variáveis as distâncias percorridas, o tipo de veículo e o combustível utilizado. Esse processo é referente ao deslocamento dos equipamentos dos fabricantes até o Estado da BA, para instalação, bem como o deslocamento necessário para manutenção do sistema. Foram utilizados os processos já existentes no banco de dados do *software* Gabi 4.

Na etapa de uso e manutenção, no período de 20 anos, foram consideradas as substituições dos componentes tanto para manutenção preventiva como para corretiva, conforme explicito na tabela 2.

Tabela 2: Número médio de componentes utilizados em 20 anos na RD.

Componente	Quantidade média de peças
Isolador	2
Condutor	1
Poste	1
Cruzeta	2
Ferragens	2

Como última etapa do inventário, a fase do decomissionamento representa o fim de vida para os componentes substituídos visto que a estrutura física da rede continua a exercer sua função após o período de 20 anos estipulado.

A destinação final dos componentes substituídos varia em função da sua potencialidade de aproveitamento. Parte deles é reciclada ou reutilizada e parte encaminhada para aterro sanitário.

Conforme estabelecido em norma a seleção das categorias de impacto deve ser definida com base científica, de forma clara e transparente considerando as preocupações ambientais identificadas.

Visando evitar julgamento de valores para inclusão ou exclusão de categorias, a decisão foi obtida realizando a avaliação (através do inventário) para todas as categorias disponíveis no GaBi 4, e selecionadas aquelas onde foram verificados maiores impactos.

RESULTADOS

As categorias de impacto que apresentaram maior relevância foram: Depleção abiótica, Acidificação, Aquecimento Global. Dentre essas, o maior impacto ambiental identificado foi na categoria de Aquecimento Global, sendo apresentados os resultados desta para discussão do trabalho.

A figura 3 mostra a associação de cada plano para esta categoria, em função das etapas definidas. Verifica-se que as redes urbanas impactam mais do que as redes rurais, para 1 km de rede. Isto pode ser explicado pelo fato de que a RDU possui uma massa total mais representativa que a RDR, devido ao maior número de componentes.

Ainda, pode-se observar que a etapa de produção e instalação é a maior contribuinte na emissão de CO₂. Essa etapa também é a maior geradora de impactos potenciais para as demais categorias analisadas.

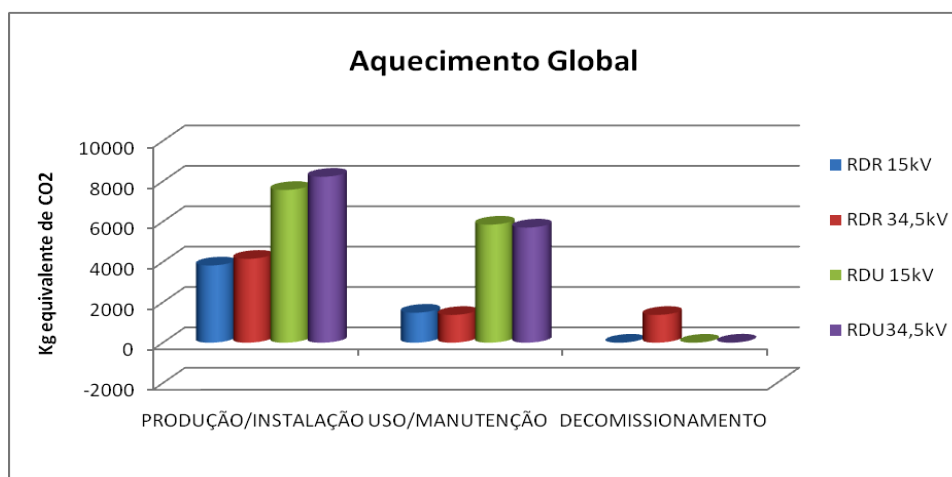


Figura 3: Impactos das redes de distribuição para a categoria de Aquecimento Global.
Fonte: Kiperstok et al. (2009).

A figura 4 ilustra a contribuição de cada componente para o aquecimento global na etapa de produção e instalação, no caso da RDU 15 kV. Ao analisarmos mais profundamente, nota-se que a produção e instalação dos postes são mais impactantes do que os demais componentes estudados.

As cruzetas de madeira possuem um saldo negativo de CO₂ pelo fato de sua produção contar com o sequestro de carbono pelas árvores.

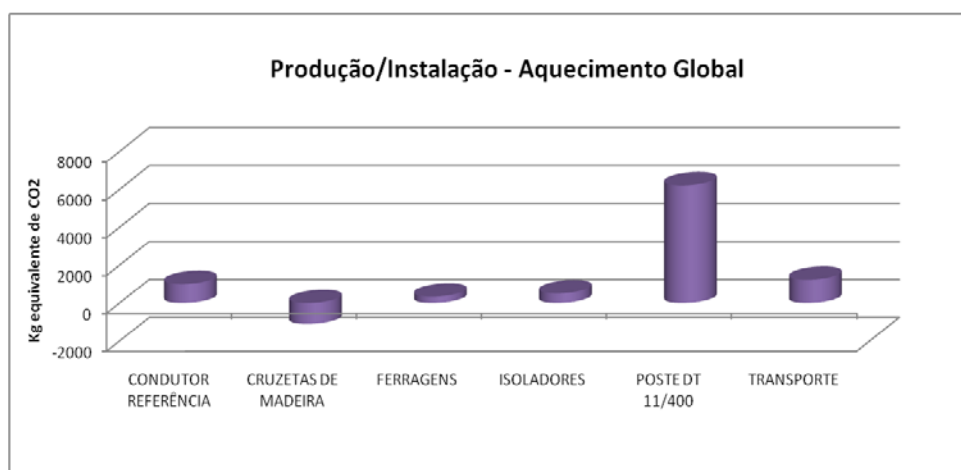


Figura 4: Impactos da produção e instalação da RDU 15 kV para a categoria de Aquecimento Global.
Fonte: Kiperstok et al. (2009).

A figura 5 ilustra a análise realizada para a produção dos postes. De todos os materiais utilizados na fabricação dos postes, nota-se que o concreto é o mais impactante para a categoria de aquecimento global.

O concreto é composto por água, areia, brita e cimento. Um problema ambiental relacionado à produção de cimento, é que durante o processo utiliza-se carbonato de cálcio envolvendo também a liberação de grandes quantidades de dióxido de carbono, contribuindo com o efeito estufa.

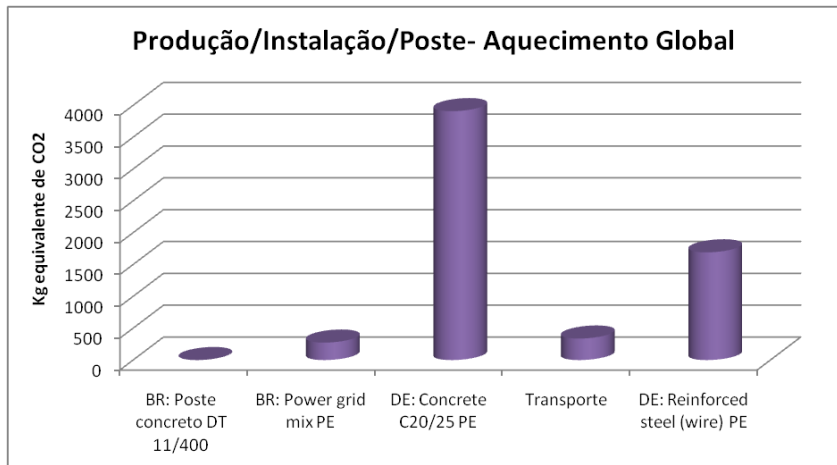


Figura 5: Emissões de CO₂ da produção e instalação do poste da RDU 15 kV.
Fonte: Kiperstok et al. (2009).

DISCUSSÕES SOBRE OS TIPOS DE POSTES

Alguns estudos realizados principalmente nos EUA e na Europa comparam a utilização dos postes de concreto, aço e madeira (ERLANDSSON, 1992; HILLIER, 1994; MURPHEY, 1995; HILLIER, 1996; HILLIER, 1997). De maneira geral, os resultados apontam que o poste de madeira possui uma carga ambiental menor, mesmo com uma vida útil reduzida, sendo necessária a substituição destes componentes após determinado período.

Künniger e Richter (1997) realizaram uma ACV de postes na Suíça em comparação de diferentes tipos de madeira tratada (Cobre, Cromo e Fluor / Cobre, Cromo e Boro), concreto armado e aço, assumindo uma vida

útil de 60 anos. Para os postes de madeira foi assumida uma substituição após 30 anos. Foram consideradas todas as etapas do ciclo de vida dos postes, incluindo a energia e o transporte. No estudo, estima-se que a energia necessária para a produção do poste de madeira é menor do que das alternativas. Os postes de aço tiveram o pior resultado em 9 dos 11 parâmetros de avaliação, causado principalmente, pelos efeitos da produção do aço. Os postes de madeira apresentaram pouca contribuição para o efeito estufa, porém alto potencial de ecotoxicidade. Já os postes de concreto têm a maior quantidade gerada de resíduos sólidos, mas não contribuem para a poluição do solo.

Uma estimativa realizada por Sedjo (2001) sobre o efeito da substituição dos postes de aço para postes de madeira em 1km de rede na Suíça revelou a possibilidade de redução de 34,436 kg de CO₂ equivalentes, um dos responsáveis do efeito estufa.

O estudo mais recente encontrado nos periódicos sobre o assunto foi realizado por Bolin (2011), que comparou o ciclo de vida dos postes de madeira tratada com pentaclorofenol nos EUA. Além disso, esta ACV avaliou as oportunidades para reduzir os impactos ambientais associados. Como resultados, obteve-se que os gases de efeito estufa, o uso de combustível fóssil, a acidificação, o uso da água, a eutrofização e a ecotoxicidade tiveram menores valores de impacto para os postes de madeira tratada com pentaclorofenol do que aqueles obtidos para os postes de concreto.

No Brasil não foram encontrados estudos que realizaram essa comparação no âmbito da ACV. Merece destaque a dissertação de mestrado de Yokote (2003), que propõe um Inventário de Ciclo de Vida para o sistema de distribuição de energia elétrica, incluindo os postes. É de se notar que uma ACV pode ser diferente para diferentes regiões, uma vez que o valor de entrada de muitos dos parâmetros que são analisados são característicos de determinadas localidades ou países.

CONCLUSÕES

Partindo do pressuposto que a ACV é uma ferramenta para auxiliar os líderes na tomada de decisão e deve ser incluída com outros critérios tais como custo e desempenho, podemos concluir que este trabalho trouxe resultados satisfatórios.

As informações obtidas proporcionam uma forma de considerar os impactos ambientais durante a seleção de um produto, por exemplo.

O estudo contribuiu para verificar o potencial impacto ambiental de maior relevância gerado durante o ciclo de vida dos componentes analisados. Permitiu também identificar quais destes componentes possuem maiores contribuições, bem como os materiais associados.

A partir disso, na busca de reduzir os impactos ambientais da rede, pode-se substituir os materiais mais agressivos ao meio ambiente (como o cimento), ou até mesmo substituir os componentes mais impactantes (avaliar a possibilidade de uso do poste de madeira, por exemplo).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ERLANDSSON M.; ÖDEEN K.; EDLUD M. L.: Environmental consequences of various materials in utility poles – A life cycle analysis. In: Proceedings of the 23. IRG Annual Meeting of IRG, IRG Doc. No. WP/3726-92, Stockholm. 1992.
2. FAVA, James A; COOPER, Joyce S. Alignment of North American Activities to the UNEP/SETAC Life-Cycle Initiative. Journal of Industrial Ecology. V. 5, N. 4. 2002.
3. HILLIER W.; MURPHEY R. J.; DICKINSON D. J.; BELL J. N. B.: Life cycle assessment and its application to preservative treated timber products. Paper presented at the WEI spring meeting. West European Institute for Wood Preservation (WEI), Brussels. 1994.
4. _____. Life cycle assessment and its application to treated timber products. In: Life cycle environmental impact analysis for forest products. Forest Products Society, Madison/WI, 50–60. 1996.
5. _____. The risk of life cycle impact assessment for preservative treated timber products. In: Proceedings of the WEI-Congress, WEI Document 2601, Oslo. 1997.

6. ISO 14040. International Standard. Environmental Management - Life Cycle Assessment - principles and framework. 1997. Tradução: ABNT NBR ISO 14.040. Princípios e estrutura, revisão em 2009.
7. ISO 14044. International Standard. Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. 2006. Tradução: ABNT NBR ISO 14.044. Requisitos e orientações, revisão em 2009.
8. KIPERSTOK, Asher (coord); et al. Avaliação do Ciclo de Vida de Componentes do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica. 2009.
9. KÜNNIGER, T.; RICHTER, K.: Environmental comparison of electricity mains made from impregnated wood, reinforced concrete and corrosion-protected steel (in German). Eidg. Materialprüfungs und Forschungsanstalt (Empa), Dübendorf. 1997.
10. REBITZER, G.; *et al.* Life cycle assessment. Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. Environment international. 30, p. 701-720. 2004.
11. SEDJO, Roger A. Wood materials used as a means to reduce greenhouse gases (GHG): An examination of wooden utility poles. 2001. North American Wood Pole Coalition. Technical Bulletin.
12. UNEP. Global Guidance Principles for LCA, 2011. Disponível em <http://www.unep.org/pdf/UNEP_LifecycleInit_Dec_FINAL.pdf> Acesso em: 27 jan. 2012.
13. YOKOTE, Alexandre Yoshikazu. Inventário de ciclo de vida da distribuição de energia elétrica no Brasil. 2003. 341 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo.