



DETERMINAÇÃO DAS EMISSÕES DE CARBONO DA ENERGIA HIDROELÉTRICA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE CICLO DE VIDA

Isadora Mello¹

Lucas Andrade dos Santos²

Ednaldo Oliveira dos Santos³

Poluição Atmosférica

Resumo

O processo de construção e operação ao longo da vida útil de uma usina hidrelétrica resulta em impactos ambientais importantes que precisam ser contabilizados e analisados objetivando minimizar tais impactos ao meio ambiente e contribuir para um desenvolvimento de uma energia mais sustentável. Assim, é de suma importância fazer uma análise do ciclo de vida (ACV) na produção renovável de energia elétrica pela fonte hidráulica, através da quantificação de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), buscando adequar a produção de energia à proposta de enfrentamento das causas que contribuem para alterações climáticas. O presente trabalho objetivou estimar as emissões de GEE durante a vida útil ao longo de 100 anos das usinas hidrelétricas em operação no estado do Rio de Janeiro. A metodologia utilizada contou com (1) coleta de dados e informações relacionados aos produtos e processos ligados a construção e operação das UHE e (2) avaliação do ciclo de vida da produção de energia advinda desta fonte, com base na ACV utilizando o software comercial SimaPro. Os resultados mais relevantes mostraram que de forma geral as maiores contribuições na construção e operação das usinas hidrelétricas seriam aço, concreto e areia, refletindo também nas maiores emissões de GEE, onde o principal responsável foi o CO₂ fóssil. Além disso, entre as UHE analisadas as maiores emissões ocorreram na UHE de Funil, podendo estar relacionado diretamente às elevadas contribuições e uso intensivo de aço e ferromangânese usados nas fases de construção e operação desta Usina.

Palavras-chave: Hidroeletricidade; Impacto Ambiental; Gases de Efeito Estufa; ACV.

¹Aluna de mestrado em Geociências (Geoquímica), Universidade Federal Fluminense – Programa de Pós-Graduação em Geoquímica Ambiental, isa.mellojf@hotmail.com.

²Aluno do curso de graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Departamento de Engenharia, lucasandrade531@gmail.com.

³Prof. Dr. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Departamento de Ciências Ambientais, edmeteoro@hotmail.com



INTRODUÇÃO

A matriz elétrica brasileira, quando comparada à matriz elétrica mundial, é considerada menos poluente em relação aos seus impactos ambientais. Segundo dados do MME (2020), a oferta de energia interna em território nacional, entre os anos de 1973 e 2019, teve uma redução de 7,2 para 1,1% nas fontes de petróleo e derivados e crescimento 16,9% no uso de fontes renováveis, como biomassa, eólica, solar e geotérmica. No mesmo sentido, a matriz elétrica mundial também reduziu o uso de fontes poluidoras, como carvão mineral e petróleo. No entanto, apesar da redução de 24,6% no consumo de petróleo e derivados, a principal fonte de energia mundial ainda é o carvão mineral, com redução de apenas 2% nos últimos 46 anos, e atual representação de 36,7% de toda oferta interna de energia mundial. No Brasil, por outro lado, o carvão representa apenas 2,4% da oferta de energia interna atual e tem como sua principal fonte de energia a fonte hidroelétrica, no qual representa 64,15% de toda matriz elétrica.

Assim, como nossa matriz elétrica é composta basicamente de origem hidráulica, se torna importante ter uma análise mais precisa das emissões de carbono da fonte hidráulica, que condiz com os compromissos legais e também internacionais voluntários assumidos pelo Brasil.

A Lei 12.187/09 instituiu no Brasil a Política Nacional de Mudanças Climáticas com o objetivo, dentre outros, de redução das emissões antrópicas de gases de efeito estufa em relação às suas diferentes fontes, e ratificou em seu Art. 12 o compromisso nacional voluntário de redução de suas emissões projetadas até 2020 entre 36,1% e 38,9% (BRASIL, 2009) com o compromisso nacional de implementar ações que almejem reduzir entre 1.168 milhões e 1.259 3 milhões de tCO₂e_q do total de emissões estimadas, no qual englobam a expansão da oferta hidrelétrica e de fontes alternativas renováveis.

Desta forma, uma ferramenta bastante útil, porém com uso ainda muito incipiente para a determinação das emissões de GEE da produção dessa fonte, é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Segundo a norma NBR ISO 14.040 (ABNT, 2009), a ACV trata-se de uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos associados a um produto, desde a aquisição da matéria prima, passando pela produção, uso e disposição.

Sendo assim, ao se utilizar da ACV como ferramenta permite-se avaliar de forma ampla, aspectos inerentes ao produto e essenciais para lastrear a tomada de decisões de forma ambientalmente apropriada, dando-se o peso adequado às peculiaridades local/regional. Tudo isso é feito através do levantamento de um inventário de entradas e saídas, avaliação dos impactos associados a esse inventário, e interpretação dos resultados para auxiliar a tomada de decisão (RIBEIRO et al., 2003; MONTOVANI, 2012).

Conseqüentemente, a análise de inventário e a interpretação dos dados de todo o ciclo de vida da fonte hidráulica, propiciará a maior clareza na tomada de decisões, tendo em vista a meta de redução de GEE assumida pelo Brasil. Segundo o Relatório Especial do IPCC sobre Fontes Renováveis de Energia e a Mitigação da Mudança Climática (IPCC, 2013) ressaltou em suas conclusões que as emissões de hidrelétricas "atualmente não há consenso sobre se os reservatórios são emissores líquidos ou sumidouros líquidos". Uma dessas causas seria porque não se levam em consideração as emissões reais ao longo da cadeia produtiva deste tipo de fonte energética.

Ao analisar estudos científicos realizados no Brasil sobre ACV e seu uso na hidroeletricidade não foi observada nenhuma pesquisa para o estado do Rio de Janeiro. Portanto, este trabalho se torna fundamental para ampliar os conhecimentos e elaborar cada vez mais estudos levando em conta todo o ciclo de vida das emissões de fontes energéticas, neste caso de fonte hidráulica, para que possa ter dados mais precisos em estudos comparativos desta natureza, tomando como exemplo o estado do Rio de Janeiro.

METODOLOGIA

A área de abrangência deste trabalho compreendeu os empreendimentos de usinas hidrelétricas (UHE) em operação no estado do Rio de Janeiro de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Deve ser ressaltado que UHE são usinas de grande porte, ou seja, com potência instalada maior que 50 MW e com áreas alagadas para reservatório acima de



13km², conforme Resolução Normativa 875 da ANEEL em vigor. Conforme dados da ANEEL (ANEEL, 2020), há no estado do Rio de Janeiro 7 (sete) UHE em operação, com potências, tamanhos e características diferentes. Com isso, foi necessário elaborar estudo para selecionar àquelas mais representativas do Estado, haja vista a limitação de informações, tempo e capacidade para fazer todas UHE no Rio de Janeiro. Sendo assim, estabeleceu-se que se avaliaria usinas hidrelétrica com potência instalada superior a 100 MW, consideradas de médio porte (SAMPAIO et al., 2005; MORETO et al., 2012; EPE, 2018). Além disso, levou-se em consideração a sua distribuição geoespacial como também a produção de energia hidráulica proporcionalmente no Estado.

A partir do pressuposto acima, selecionou-se 4 (quatro) empreendimentos hidroelétricos para estudos de ACV (Tabela 1). Cabe ressaltar que essas Usinas Hidrelétricas selecionadas representam cerca de 75% de toda a potência instalada das UHE no Rio de Janeiro. Como as outras 3 restantes possuem similaridades em relação as características técnicas daquelas avaliadas, acredita-se que a pesquisa continua tendo grande relevância e importância, pois posteriormente os resultados obtidos podem ser extrapolados dentro de certas limitações para essas que não puderam ser estudadas.

Tabela 01: Informações técnicas gerais das principais UHE do estado do RJ.

UHE	Potência (mw)	Área alagada (km ²)	Volume (milhões m ³)
FONTES NOVA	131,98	30	459
FUNIL	216,00	40	890
NILO PEÇANHA	380,03	1	57
SIMPLÍCIO/ANTA	305,70	16	114,2

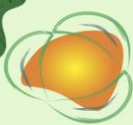
A partir da escolha das UHE, foi realizado estudo para identificar quais as principais atividades ligadas à produção de energia hidroelétrica, compreendendo desde a construção até a geração da energia. Nesta etapa, de suma importância para a consecução do presente trabalho, foi realizada a coleta de dados e informações principalmente sobre os materiais e energia usados na construção e operação, além das características técnicas

das UHE. Estas informações e dados foram obtidas de diversos documentos técnicos e científicos (relatórios, inventários, dissertações, teses, artigos, websites das UHE, ANEEL, ONS, etc.). Esta fase foi muito importante para a análise do inventário do ciclo de vida (ICV). Verificou-se que entre os materiais utilizados identificam-se basicamente: geomateriais (solos argilosos e arenosos; materiais granulares, p.e., areia, cascalho e rocha britada), concretos (concreto massa, bombeado, autoadensável, reforçado com fibras, concreto estrutural) - aplicados nos muros, vertedouro e outras estruturas do tipo massa e na casa de força, tomada d'água, área de montagem, eclusa, e outras estruturas, respectivamente - e aço (usados em equipamentos eletromecânicos, turbinas, geradores, etc.).

No tocante às usinas hidrelétricas, a fronteira do sistema de ACV engloba os principais processos envolvidos desde o início da construção até o período de operação e manutenção, neste trabalho previsto em 100 anos (RIBEIRO & DA SILVA, 2010). A categoria de impacto escolhida foi o método IPCC (2013) 100 anos. Cabe ressaltar que o IPCC relaciona os fatores de mudança climática com um prazo de 20, 100 e 500 anos. O período de 100 anos é a base utilizada pelo Protocolo de Kyoto, por isso tem uma ampla aceitação e é mais recomendado.

Para esta etapa utilizou-se o software comercial de ACV SimaPro® - versão 8.5 e o serviço de licenciamento do pacote educacional PhD, versão definitiva, que facilitou e tornou mais eficiente os cálculos para determinar os processos e as emissões de carbono ao longo do ciclo de vida da produção de energia hidroelétrica.

Na determinação das emissões de carbono das UHE foram avaliados os diversos processos produtivos (matérias primas, energia, transporte, resíduos, entre outros) escolhidos para a elaboração dos sistemas de produto e que relacionavam esses processos à respectiva categoria de impacto ambiental selecionada desde a fase de construção até sua operação.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 1 e 2 abaixo estão apresentados os resultados obtidos das emissões de carbono totais e parciais das 4 usinas hidrelétricas avaliadas nesta pesquisa usando ACV.

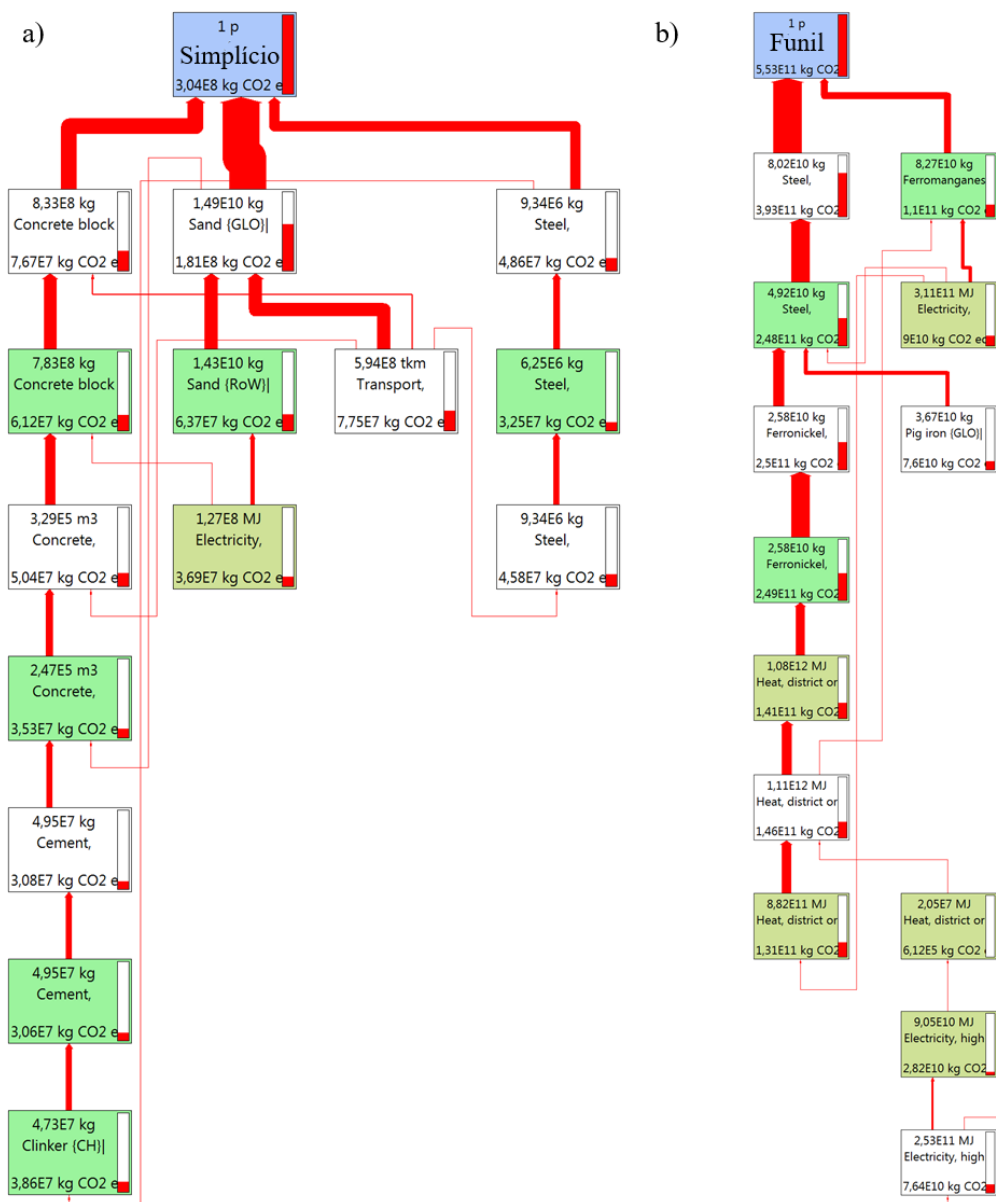


Figura 01: Rede ACV das usinas hidrelétricas de: a) Simplicio/Anta; b) Funil.

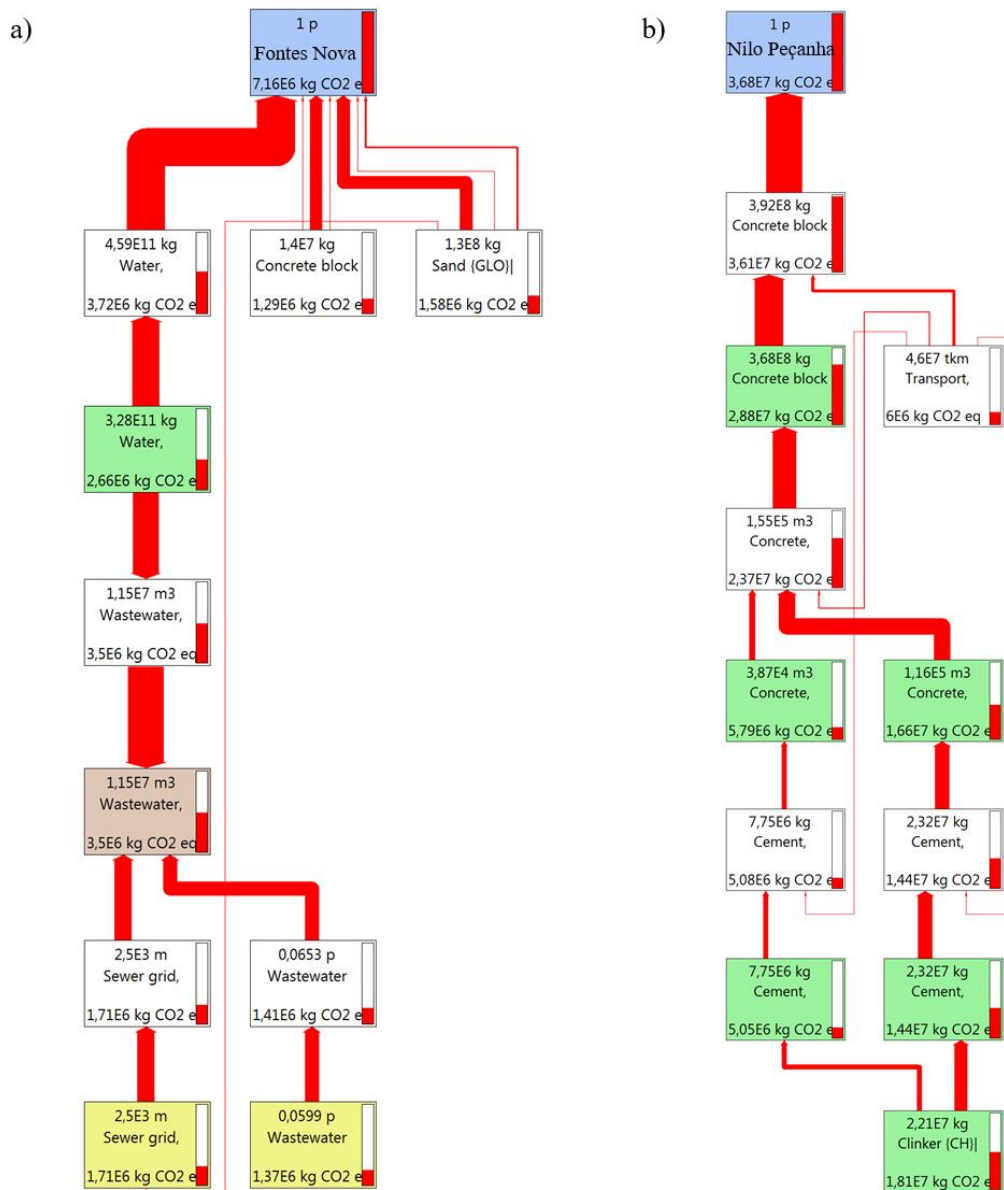


Figura 02: Rede ACV das usinas hidrelétricas de: a) Fontes Nova; b) Nilo Peçanha.

Ao analisar os resultados obtidos, nota-se que a UHE que teve a maior emissão de carbono entre os empreendimentos avaliados foi Funil com 553 Mt CO₂ eq. (Figura 1b), enquanto que em Fontes Nova, Nilo Peçanha e Simplício/Anta foram observadas emissões de carbono muito menores com $7,16 \times 10^{-3}$ Mt CO₂ eq., $36,1 \times 10^{-3}$ Mt CO₂ eq. e 0,3 Mt CO₂ eq., respectivamente (Figuras 1a e 2). Isso pode estar relacionado



diretamente pelas contribuições entre os materiais usados nas fases de construção e operação das UHE, pois no caso de Funil ficou evidenciado que proporcionalmente quem causou os maiores impactos foram o aço e o ferromanganês, quando comparados com todos os outros usos.

Já nas demais UHE notou-se que os principais materiais foram concreto e areia. Ao considerar as emissões de GEE, observou-se que a substância que mais impactou foi o dióxido de carbono (CO₂) fóssil com uma contribuição maior do que 90% das emissões totais em todas as UHE avaliadas, para o cenário de 100 anos do IPCC.

CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados mostrados, ficou evidente a importância dos estudos realizados nesta pesquisa, pois se trata do único estudo até o momento com essa abrangência e representatividade (cerca de 75% da potência instalada das UHE em operação) para o Rio de Janeiro.

Dentre os resultados analisados notam-se que de forma geral as maiores contribuições para a construção e operação das usinas hidrelétricas foram aço, concreto e areia. Isso se refletiu também nas maiores emissões de GEE, onde o principal responsável foi o dióxido de carbono (CO₂) fóssil. Além disso, as maiores emissões ocorreram na UHE de Funil, quando comparada com todas UHE avaliadas, podendo estar relacionada diretamente pelas elevadas contribuições e uso intensivo de aço e ferromanganês usados nas fases de construção e operação desta Usina.

Desta forma, esta pesquisa propiciou maior conhecimento sobre os impactos de emissões de GEE nas etapas de produção e operação de energia hidroelétrica no Rio de Janeiro.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, projeto contemplado na Chamada Universal 2016 (408319/2016-0). Os autores agradecem também ao PIBIC/UFRRJ pela concessão da bolsa de Iniciação Científica do segundo autor.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14040**: Gestão Ambiental - Avaliação de Ciclo de Vida - Princípios e Estrutura. Rio de Janeiro/RJ.

BRASIL, 2009. LEI N° 12.187: Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC. Presidência da República, 2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm>. Acesso em: 16 set. 2015.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, **Banco de Informação de Geração (BIG)**. Capacidade de Geração de Energia no Brasil, 2020. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 03 abr. 2020.

BRASIL, **LEI N° 12.187**: Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC. Presidência da República. 2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm>. Acesso em: 16 set. 2015.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Premissas e Custos da Oferta de Energia Elétrica no horizonte 2050**. Rio de Janeiro/RJ: Série Estudos de Longo Prazo/Nota Técnica PR 07/18 - EPE/MME, 2018. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-456/NT%20PR%20007-2018%20Premissas%20e%20Custos%20Oferta%20de%20Energia%20EI%20C3%A9trica.pdf>>. Acesso em: 28 jun. 2020.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate. **IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation**. Edenhofer et al. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 2013.1075 p.

MME, Ministério de Minas e Energia. **Resenha energética brasileira**. 2020. Disponível em:



< [MONTOVANI, V. A. **Avaliação de Ciclo de Vida**. UNESP-Campus de Sorocaba/SP. 2012. Disponível em:](http://antigo.mme.gov.br/documents/36208/948169/Resenha+Energa+C3%A9tica+Brasileira++edi%C3%A7%C3%A3o+2020/ab9143cc-b702-3700-d83a-65e76dc87a9e#:~:text=Pelo%20volume%2C%20merecem%20destaque%20os,mas%20ainda%20com%20baixa%20representatividade.>. Acesso em: 28 jun. 2021.</p></div><div data-bbox=)

<<https://www.sorocaba.unesp.br/Home/Graduacao/EngenhariaAmbienta/SandroD.Mancini/acv-vanessa.pdf>> Acesso em: 28 maio. 2018.

MORETO, E. V.; GOMES, C. S.; ROQUETTI, D. R.; JORDÃO, C. O. **Histórico, Tendências e Perspectivas no Planejamento Espacial de Usinas Hidrelétricas Brasileiras: A Antiga e Atual Fronteira Amazônica**. Ambiente & Sociedade: São Paulo, v. XV, 2012. pp. 141-164.

RIBEIRO, F.M.; DA SILVA, G.A. **Life - Cycle inventory for hydroelectric generation: a Brazilian case study**. Journal of Cleaner Production 18, 2010. pp. 44-54.

RIBEIRO, C. M.; GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. **Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): Uma Ferramenta importante de Ecologia Industrial**. 2003. Disponível em: <<http://hottopos.com/regeq12/art4.htm>>. Acesso em: 12 nov. 2015.

SAMPAIO, L. M. B.; RAMOS, F. S.; SAMPAIO, Y. **Privatização e eficiência das usinas hidrelétricas brasileiras**. Econ. Apl., vol. 9, no. 3, Ribeirão Preto. 2005.

STEINHURST, W.; KNIGHT, P.; SCHULTZ, M. **Hydropower Greenhouse Gas Emissions: State of the Research**. Synapse Energy Economics, Inc., Cambridge, Massachusetts, E.U.A. 24p. 2012. Disponível em: <<http://www.cusli.org/Portals/0/files/conference/2014/Hydropower-GHG-Emissions-Feb.-14-2012.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2015.

YOKOTE, A.Y. **Inventário de Ciclo de Vida da Distribuição de Energia Elétrica no Brasil**. São Paulo: Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica/USP, 2003. 344p.