



XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável:
desafios do conhecimento e da gestão

De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília – DF

USINAS HIDRELÉTRICAS REVERSÍVEIS E O NEXO ÁGUA E ENERGIA

Márcia R. A. M. A. Ricetta¹; & Alfredo Akira Ohnuma Jr. ²; & Julio Domingos Nunes Fortes³*

Resumo – Diante da atual crise hídrica em que o país se encontra, comprometendo os diversos usos da água e principalmente, o setor elétrico com usinas hidrelétricas a fio d'água, a pesquisa vem ressaltar a importância dos recursos hídricos e a proposta de compensação da sazonalidade hídrica com fontes limpas de energia e a necessidade de usinas hidrelétricas reversíveis (UHR) como armazenamento de energia/água, a fim de manter a segurança energética com o aumento da energia firme, tal fato nos remete a um velho trade-off mundial, o uso da água e da energia cada vez mais crescente com a demanda. O tema também se justifica, frente às mudanças climáticas com aumento da temperatura e a necessidade de redução dos gases de efeito estufa (GEE), no que se refere ao uso das usinas térmicas na ponta e base. As UHR podem mitigar ou reduzir o nexo entre esses dois elementos na bacia hidrográfica, quando viável geologicamente com potencial para tal reversão, sem comprometer ou impactar socioambientalmente a região no entorno do empreendimento, no momento atual e para os próximos anos.

Palavras-Chave – Usinas Reversíveis e Nexo à agua e energia.

REVERSE POWER PLANTS AND THE WATER AND ENERGY NEXUS

Abstract – Given the current water crisis in which the country finds itself, compromising the various uses of water and mainly the electricity sector with hydroelectric plants-of-river, the research is to highlight the importance of water resources and the compensation offer of seasonal water with clean sources of energy and the need for pumped storage plants (UHR) and storage energy / water, in order to maintain energy security by increasing the firm energy, this fact leads us to an old trade-off world, the use of ever-increasing water and energy with demand. The theme is also justified, to climate change with increasing temperature and the need to reduce greenhouse gases (GHG) with regard to the use of thermal plants in the tip and base. The UHR can mitigate or reduce the link between these two elements in the basin, where feasible geologically with the potential for such a reversal, without compromising or impact socially and environmentally the area around the venture at the present time and for years to come.

Keywords – Reverse Power Plants and Water and Energy Nexus.

1

Profª Auxiliar do Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Estácio de Sá. enricetta@gmail.com.

2

Prof. Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. akira@uerj.br.

3

Profº Visitante do Departamento de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. jdnfortes@ig.com.br



XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável:
desafios do conhecimento e da gestão

De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília – DF

INTRODUÇÃO

Segundo Yang e Jackson (2011), com as crescentes preocupações sobre o aquecimento global, as sociedades estão cada vez mais se voltando para a utilização de fontes de energia renováveis intermitentes como forma de mitigar os gases de efeito estufa (GEE) - políticas de baixo carbono - onde o armazenamento de energia se torna mais e mais importante, os pesquisadores destacam as usinas hidrelétricas com bombeamento ou reversíveis (PHES ou UHRs), como a tecnologia mais apropriada para este propósito em escala global.

O Brasil surge como um novo potencial para a instalação desses empreendimentos e no caso brasileiro pode ser complementada com fontes renováveis como a eólica e a solar no período de sazonalidade das hidrelétricas, podendo substituir parte da geração termelétrica à diesel na ponta, ELETRO NORTE (2014), reduzindo assim parte das emissões nos últimos anos.

Todavia VOITH (2014) ressalta que a diminuição da capacidade de armazenamento de energia pela construção de Usinas Hidrelétricas a fio d'água nos últimos anos no Brasil e a maior participação das fontes renováveis, como as supracitadas em nossa matriz energética, necessita de compensação para as variações dessas fontes que podem ocorrer com as Usinas Reversíveis que armazenam água/energia nos períodos de baixo consumo e reverte a energia para um alto valor no período de ponta ou no período de baixa potência devido à intermitência dessas fontes.

Deve-se compreender que as Usinas hidrelétricas reversíveis não são Usinas hidrelétricas convencionais que seguem o fluxo do rio com barragens, na verdade, um reservatório à montante (platô mais elevado) e outro à jusante (platô mais baixo) realizam o trabalho de bombeamento (noite) e turbinamento (dia), desta forma os impactos socioambientais como deslocamento de populações ribeirinhas Soito & Freitas (2009) para implantação de reservatórios não ocorre, bem como a redução de peixes na região, nem tão pouco afeta as cidades na irrigação, consumo da água e transporte fluviais, ou seja, os múltiplos usos da água podem ser preservados na bacia hidrográfica quando bem planejados. Mesmo com eficiência de 75-80% no processo de reversão, o volume alagado pode ser variável, facilitando o controle de energia no sistema elétrico quando necessário e consequentemente o volume de água sem configurar um dilema quanto aos seus usos.

As UHRs mitigam desta forma um nexo entre a água e a energia, uma vez que as usinas hidrelétricas com reservatórios necessitam de grande volume de água armazenada afetando os múltiplos usos dentro da bacia hidrográfica inserida e grandes impactos ambientais causados, dado que a demanda por energia se elevará e o uso das energias renováveis uma realidade, as usinas reversíveis ou bombeadas reaparecem como uma solução viável para redução das emissões e reduzem o trade-off entre água e energia.

Água e energia são fortemente interligados e altamente interdependentes. As escolhas feitas em um domínio têm consequências diretas e indiretas sobre a outra. A forma de produção de energia projetada determina a quantidade de água necessária para produzir essa energia. Ao mesmo tempo, a disponibilidade e alocação de recursos de água determinar o quanto (ou quanto pouco) de água pode ser assegurada para a produção de energia, caso das UHRs. As decisões tomadas pelo uso e gestão da água e de produção de energia podem ser significativas, multifacetadas e impactando um no outro em larga escala - esses impactos muitas vezes carregam uma mistura de ambas as repercussões positivas e negativas, WWDR (2014).

JUSTIFICATIVA

Estamos passando pela maior crise hídrica do país, comprometendo os diversos usos da água e principalmente, no setor elétrico com usinas hidrelétricas a fio d'água que seguem o fluxo do rio, onde o uso da água/energia se reduz sem a barragem, mas de forma limpa, porém a complementação térmica no grid necessita de um grande volume de água para suas caldeiras, dependendo do combustível fóssil utilizado, as emissões são inevitáveis. Estas plantas usam o calor (a partir nuclear, carvão, gás natural, petróleo, fontes de energia solar ou de biomassa) para gerar energia. Percebe-se no sistema brasileiro hidrotérmico atual um deslocamento de volume de água/energia de uma fonte para outra, de um caminho sustentável para outro a ser mitigável. Ou seja, a água é usada diretamente para a geração de energia hidrelétrica, bem como para todas as formas de esquemas de geração de energia térmica. A água também permite indiretamente a geração de energia através do arrefecimento que prevê a grande maioria das usinas térmicas hoje e no futuro. Esta tendência está contrabalançando aspirações para a segurança energética e autossuficiência, bem como mitigação das mudanças climáticas. A energia hidrelétrica é sem dúvida a melhor opção em termos de armazenamento de energia e potência rápida necessária para contrabalançar a intermitência de outras energias renováveis. Vale destacar que cerca de 90% da geração de energia global é intensivo de água, WWDR (2014). É fato que as energias renováveis são intermitentes (solar e eólica) e não substituem as térmicas por completo, porém sua redução é possível e projetada para cenários futuros de energia no Brasil e o Mundo. O estresse hídrico em alguns países nos faz refletir sobre os cenários futuros de energia/água, o Brasil não se enquadra nesse perfil, porém a crise hídrica vivida no eixo Rio de Janeiro e São Paulo nos últimos meses é um alerta para que se encontre um bom senso no uso de ambos. Neste interim, as Usinas Hidrelétricas Reversíveis se apresentam com uma tecnologia mais ajustada para o momento em que o Brasil se encontra, sem esquecer que as bacias hidrográficas nos grandes centros urbanos continuarão vivendo o nexo água/energia, não só para consumo, como para saneamento e ambos necessitam de energia. O nexo da energia/água não deve ser tratado apenas na oferta, mas também na demanda requerendo pesquisas futuras com base na gerência das ISO 14046 e ISO 50001, como em Walsh *et al.* (2015).

A QUESTÃO DO NEXO ÁGUA/ENERGIA

As diferenças e as divergências em termos mais simples, onde a água é um recurso natural renovável único, insubstituível e difícil (bem como caro) para se mover, além da força da gravidade. Ao considerar o papel da água no nexo, é necessário fazer a distinção entre recursos hídricos e serviços de água, e como ambos são geridos. Gestão de recursos hídricos é sobre como gerenciar o ciclo da água, em que a água flui como um recurso natural através do ambiente (ou seja, rios, lagos, estuários e outros corpos d'água, solos e aquíferos), em termos de quantidade e qualidade. Gerenciamento de serviços de água é de cerca de desenvolvimento e gestão de infraestrutura para captura, tratar, se necessário, transportar e entregar água para o usuário final, e para capturar os fluxos de resíduos através de reticulação para o tratamento, descarga ou reutilização. Considerando que é necessário energia principalmente para o fornecimento de serviços de água, são também necessários recursos hídricos na produção de energia. Ao contrário da água, a energia pode vir em diferentes formas e pode ser produzido de várias maneiras, tendo cada um requisito distinto - e impacto sobre - recursos de água, WWDR (2014).

A água é fundamental para a mitigação das mudanças climáticas, bem como muitos esforços

para reduzir as emissões de carbono e a captura e armazenamento de carbono dependem de disponibilidade de água para o sucesso a longo prazo. Fornecendo energia suficiente para todos, reduzindo radicalmente as emissões de gases com efeito de estufa exigirá uma mudança fundamental do uso de energia fóssil, alta eficiência energética, e equidade. Essas metas podem limitar a disponibilidade de recursos hídricos para as comunidades e ecossistemas e resultar em uma redução da capacidade de adaptação para mudanças futuras, WWDR (2014).

A questão do nexo água/energia pelas hidrelétricas é discutida por várias pesquisas, dentre eles Bazilian *et al.* (2011).

A EXPANSÃO DA ENERGIA E A ESCASSEZ DA ÁGUA NO MUNDO

Globalmente, a demanda de eletricidade deve crescer em cerca de 70% em 2035. Este crescimento será quase inteiramente em países não membros da OCDE, com a China e a Índia, respondendo por mais da metade desse crescimento. Os maiores aumentos no mix de geração de energia, tanto da OCDE e países não membros da OCDE são esperados para vir de fontes renováveis. A energia hidrelétrica representa a maior parte do aumento de renováveis nos países não pertencentes à OCDE, ao passo que a eólica está prevista para dominar na OCDE.

As Usinas Hidrelétricas quando associados com o armazenamento de água nos reservatórios, pode armazenar energia durante semanas, meses, estações ou anos. A participação da energia hidrelétrica na produção total de eletricidade deverá manter-se em torno de 15% até 2035 no mundo (IEA, 2012a apud WWDR 2014), mantendo o ritmo com a taxa de crescimento global de geração de energia. Quase 90% do aumento previsto da produção de energia hidrelétrica entre 2010 e 2035 seria em países não membros da OCDE, onde o potencial remanescente é maior e o crescimento da procura de eletricidade é maior. Aumentos mais incrementais na produção de energia hidrelétrica são esperados para vir de grandes projetos de economias emergentes e países da Ásia e da América Latina em desenvolvimento, como a China, Índia e Brasil (IEA, 2012a apud WWDR 2014).

Prioridades regionais a expansão da energia hidrelétrica como uma das principais fontes de energia renovável é uma questão crítica em quase todas as regiões do mundo, devido a preocupações de crescentes conflitos entre diversos interesses sobre os recursos hídricos limitados. Na Europa e na América do Norte, a escassez de água, a variabilidade hidrológica e os impactos das mudanças climáticas sobre a disponibilidade de água e produção de energia estão cada vez mais reconhecidos como problemas críticos. Metas definidas para aumentar a parte das energias renováveis têm levado a um interesse renovado no desenvolvimento de armazenamento por bombeamento, ou seja, por usinas hidrelétricas reversíveis, porém as mesmas ainda encontram em algumas regiões incompatibilidade com outros usos da água, WWDR (2014).

O LADO POSITIVO DAS USINAS REVERSÍVEIS NO NEXO ÁGUA/ENERGIA

De acordo com Zuculin *et al.* (2014), as UHR representam parte significativa do parque gerador em diversos países e vem tendo utilização crescente. A potência instalada atual no mundo é da ordem de 127.000 MW. Usinas Hidrelétricas Reversíveis são inerentes a sistemas elétricos que combinam fontes de energia renováveis como a eólica e a solar, pois podem compensar intermitências, nivelando as flutuações características dessas fontes. Em sistemas com grande capacidade instalada de eólicas, usinas hidrelétricas a fio d'água e usinas nucleares, a UHR pode funcionar como uma carga na forma de bateria, armazenando energia.

Em Bacaltchuk *et al.* (2015), descrevem sucintamente o esquema de operação da Usina Hidrelétrica Reversível que é constituída basicamente de um “Reservatório Inferior” (em nível baixo) dotado de “Estação de Bombeamento” com “TurboGeradores Reversíveis” interligada a um “Reservatório Superior” em nível (mais alto) por meio de condutos forçados ou túneis, como na

figura 1. Durante a noite a água é bombeada do Reservatório inferior para o “Reservatório Superior”, para gerar durante o dia, nas horas de maior demanda. Bacaltchuk *et al.* (2015), ainda destaca o fato de que o custo de implantação das UHs Reversíveis é menor do que novas UHs convencionais, pois não requerem barragem, reservatório, vertedouro, enseadeiras, desvio do rio, desapropriações de áreas inundadas, estradas de acesso, grandes canteiros de obra e outros, reduzindo assim os custos do projeto e da construção, além de reduzir as perdas d’água e consequentemente impactando menos a bacia hidrográfica onde está inserida.

Seguindo esta linha de raciocínio de Bacaltchuk *et al.* (2015) e complementando com VOITH (2014), o nexo da água/energia é positivo, pois destaca o quanto pouco de água pode ser assegurada para a produção de energia WWDR (2014), representada pela constante de tempo de geração e de bombeamento. A constante de tempo na geração: corresponde ao tempo necessário para esvaziar o reservatório superior ou encher o reservatório inferior, considerando a UHR funcionando a plena potência na geração. Inversamente, a constante de tempo no bombeamento: corresponde ao tempo necessário para encher o reservatório superior ou esvaziar o reservatório inferior, considerando a UHR funcionando a plena potência no bombeamento. Ou seja, a constante de tempo de uma UHR depende diretamente, portanto, do volume útil do menor de seus reservatórios e da vazão do equipamento Rogeaux (2014), atendendo assim as premissas de WWDR (2014) e (2015).

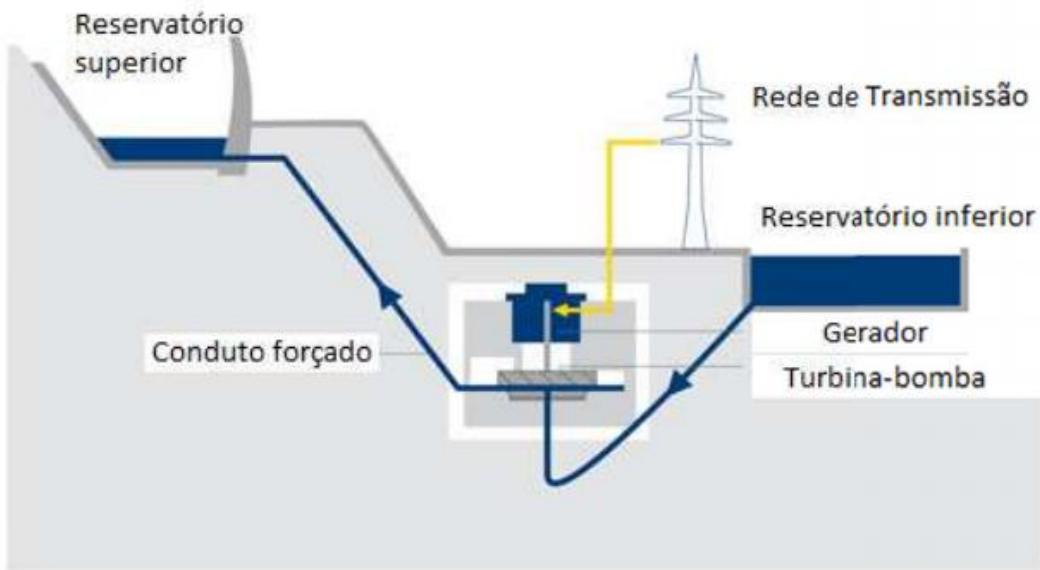


Figura 1 – Esquema básico de uma Usina Hidrelétrica Reversível, VOITH (2015).

Desta forma, deve-se observar, além de possíveis locais de implantação dessa tecnologia no Brasil, os tipos de UHR que melhor se adequem ao nexo da água/energia, em função dos volumes dos reservatórios e das quedas d’água para uma melhor potência instalada.

Na UHR diária, a constante de tempo na geração é de cerca de 4 a 8 horas e a constante de tempo no bombeamento (reservatório inferior) é de cerca de 5 a 10 horas. Este tipo de UHR funciona todos os dias e utiliza diariamente todo o volume disponível (esvaziamento do reservatório superior durante o dia e enchimento na noite seguinte). Já na UHR semanal, a constante de tempo na geração é de cerca de 20 a 30 horas e a constante de tempo no bombeamento é de cerca de 25 a 40 horas (reservatório inferior um pouco maior). Este tipo de UHR funciona todos os dias da semana e utiliza uma parte do volume. O reservatório superior é abastecido no final de semana por bombeamento contínuo, durante 25 a 40 horas, Rogeaux (2014).

Em Zuculin *et al.* (2014), Um estudo de caso de UHR foi feito, onde com cerca de 800 MW de potência instalada e geração de 8 horas diárias e seis dias por semana, precisaria de um reservatório de menos de 10 hm³. E destaca que a UHE Três Irmãos, em São Paulo, tem 808 MW instalados e um reservatório de cerca de 13.500 hm³ (3.500 hm³ de volume útil). Essa é uma diferença radical na análise de impactos socioambientais, pois enquanto na UHE convencional o reservatório é projetado para criar ou concentrar a queda de um rio, na UHR a queda é o próprio desnível natural abrupto de uma serra, ficando o reservatório apenas para conter o volume de geração e bombeamento, num circuito fechado ou semiaberto. Também para comparação em Zuculin *et al.* (2014), a UHE Ilha dos Pombos, no Rio de Janeiro, com 187 MW, tem um reservatório similar, com 7 hm³. Ou seja, os reservatórios, por serem pequenos e minimizarem o nexo água/energia, sofrerão oscilações consideráveis e frequentes do nível d'água, podendo essa variação ser diária ou semanal, dependendo da duração do ciclo bombeamento e geração. A exceção à variação se dá em casos nos quais um dos reservatórios seja existente e infinito (por exemplo, quando se usa o reservatório existente de uma hidrelétrica). Ambientalmente falando, tais variações de nível d'água podem provocar erosão das margens ou criar uma faixa inóspita à habitação e a irrigação.

Na Europa, algumas das Usinas Hidrelétricas Reversíveis proporcionam em determinada época do ano (menos solicitadas pelo sistemas) uma área de veraneio no reservatório inferior, caso da UHR de Grand'Maison, situada nos Alpes e em funcionamento desde 1985. Outro exemplo, é a UHR de Cheylas, situada também nos Alpes perto de Grenoble na França, figura 2, em funcionamento desde 1979, onde se estabeleu ao redor dos reservatórios inferior e superior, cidades, sendo bem aceitas socialmente, contando como um fator que pesa aqui no Brasil ambientalmente e no aspecto do nexo água/energia também pontua positivamente para sua implantação, Rogeaux (2014).



Figura 2 – UHR de Cheylas, situada nos Alpes perto de Grenoble na França, Rogeaux (2014).



XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável:
desafios do conhecimento e da gestão

De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília – DF

CONCLUSÃO

As mudanças climáticas fizeram o mundo refletir sobre as emissões oriundas de ações antropogênicas, onde o fundo principal é a energia. Energia tal, que necessita de grande volume de água para se gerada. Esta água por consequência está atrelada aos múltiplos usos e sua escassez diante das mudanças climáticas afetam a energia, estabelecendo o trade-off água/energia. De modo à mitigar os gases de efeito estufa (GEE), as energias renováveis, porém intermitentes se destacam no cenário global e ressurge a necessidade de armazenamento de energia, onde a tecnologia mais viável utiliza a água para acumular água/energia, novamente o nexo estudado aparece. Mas ao contrário das Usinas Hidrelétricas convencionais com reservatórios e grandes impactos socioambientais e dilemas do uso da água dessa energia, as Usinas Hidrelétricas Reversíveis quando bem planejadas podem se comportar como as atuais PCHs, onde os impactos são menores e o nexo água/energia quase inexistente.

REFERÊNCIAS

a) Livro

WWDR. (2014). *The United Nations World Water Development Report 2014. Water and energy. Volume 1.* United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. World Water Assessment Programme.

b) Artigo em revista

BAZILIAN, M.; ROGNER, H.; HOWELLS, M.; HERMANN, S.; ARENT, D.; GIELEN, D. ; STEDUTO, P.; MUELLER, A.; KOMOR, P.; TOL, R.S.J.; YUMKELLA, K.K. (2011). Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach. *Energy Policy* 39 (2011) 7896–7906. *ScienceDirect Energy Policy*.

SOITO, J.L.S. & FREITAS, M.A.V. (2009). Amazon and the expansion of hydropower in Brazil: Vulnerability, impacts and possibilities for adptation to global climate change, 2009.

YANG, C-J; JACKSON, R.B. (2011). Opportunities and barriers to pumped-hydro energy storage in the United States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 839–844. *ScienceDirect Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

WALSH B.P., MURRAY S.N., O’SULLIVAN D.T.J. (2015). The water energy nexus, an ISO50001 water case study and the need for a water value system. *Water Resources and Industry* 10 (2015) 15–28. *ScienceDirect Water Resources and Industry*.

c) Artigo em anais de congresso ou simpósio

BACALTCHUK, J.; PLATCHECK, E.R.; CASTELO, G. (2015). Usinas Hidrelétricas Reversíveis com uso compartilhado de reservatórios existentes. *In Anais do Comitê Brasileiro de Barragens, XXX Seminário Nacional de Grandes Barragens Foz do Iguaçu – Paraná. 2015.*

ZUCULIN, S.; PINTO, M.A.R. R. C.; BARBOSA, P.S. F.. A retomada do conceito de usinas hidrelétricas reversíveis no setor elétrico brasileiro. *In Anais do Seminário Eletronorte sobre Usinas*



XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável:
desafios do conhecimento e da gestão

De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília – DF

Hidrelétricas Reversíveis no Setor Elétrico Brasileiro. Novembro de 2014.

e) Sites visitados

ELETRONORTE. (2014). Acessado 29 de maio de 2015. <http://www.eletronorte.gov.br/opencms/export/sites/eletronorte/seminarioTecnico/arquivos/FolderSeminarioUsinasReversiveis.pdf>

VOITH. (2014). Apresentação. Acessado em 29 de maio de 2015. www.voith.com.br/produtos-e-servicos/.../usinas-reversiveis-551.html

HYDRO NEWS No. 21. (Abril) 04-2012. Revista da Andritz Hydro. Acessado em 29 de maio de 2015. www.andritz.com/hy-customermagazine-hn21_pt.pdf

ROGEAUX, C. (2014). Apresentação. Acessada em 06 de junho de 2015. Experiência da EDF em Usinas Hidrelétricas Reversíveis na França. Seminário Técnico Sobre Usinas Hidrelétricas Reversíveis no Setor Elétrico Brasileiro. 11 e 12 de novembro 2014.