

## DESTINAÇÃO DAS ÁGUAS DE DRENAGEM URBANA PARA A MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

*Itirio Tronco Woods de Freitas*<sup>1\*</sup>; *Marconi Fonseca de Moraes*<sup>2</sup>

**Resumo** – A crise energética anunciada diante da escassez do petróleo exige soluções alternativas. A geração distribuída é uma das medidas propostas pela Teoria do desenvolvimento sustentável para combater a crise energética. As águas drenadas pela malha urbana podem gerar energia elétrica de forma distribuída. O presente trabalho propõe a implantação desse sistema de geração de energia. Realizou-se pesquisa bibliográfica para levantar tecnologias adequadas à sua implantação, tais como: Centrais Geradoras Hidrelétricas a fio d'água (CGH); reservatórios subterrâneos para armazenamento de águas pluviais; sistema de gradeamento nas malhas de drenagem para retenção de resíduos sólidos e geradores elétricos de pequeno porte. As vantagens identificadas deste sistema são: geração de energia elétrica de fonte renovável e limpa; redução do risco de enchentes; melhoria da qualidade da água escoada para os rios e reequilíbrio hidrológico da bacia hidrográfica. Propomos a implantação de uma usina piloto destinada à geração de energia elétrica, aproveitando as águas de drenagem urbana para avaliar a viabilidade técnica e econômica dessa proposta.

**Palavras-Chave** – Drenagem urbana, Microgeração de Energia Elétrica, Geração Distribuída.

## ALLOCATION OF URBAN WATER DRAINAGE FOR ELECTRICITY MICROGENERATION

**Abstract** – The energy crisis announced on the scarcity of oil requires alternative solutions. Distributed generation is one of the measures proposed by the theory of sustainable development to combat the energy crisis. The waters drained from the urban network can generate distributed electricity. This paper proposes the implementation of this system of power generation. Literature search was conducted to raise appropriate technologies for its implementation, such as: Central Hydroelectric Generating (CGH); underground reservoirs to store rainwater; railing system in mesh drainage for retaining solid waste and small scale electric generators. The perceived advantages of this system are: electric power generation from renewable and clean sources, reducing the risk of flooding, improving the quality of runoff into rivers and hydrological rebalance of the basin. We propose the implementation of a pilot plant designed to generate electricity, taking advantage of the urban drainage waters to assess the technical and economic feasibility of the proposal.

**Keywords** – Urban drainage, Microgeneration of Electric Power, Distributed Generation.

<sup>1\*</sup> Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF. E-mail: itriow@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – ESA/UFJF. E-mail: moraescmf@gmail.com

## 1. INTRODUÇÃO

As grandes transformações pela qual a sociedade e seus meios de produção e consumo passaram nas últimas décadas trazem a certeza de que, neste século XXI, enfrentaremos diversos desafios relacionados à conservação da vida no planeta. Já sentimos a necessidade de harmonizar o crescimento econômico visando o equilíbrio com o meio ambiente. Outro desafio que se anuncia é o combate à crise energética face à escassez do petróleo. A necessidade da descoberta de novas fontes de energias limpas e renováveis em substituição ao petróleo e seus derivados é de grande importância na manutenção de uma economia aquecida. Isto se dá em virtude da redução das reservas de petróleo previstas para a metade deste século, confirmando a ocorrência de uma crise energética, afetando diretamente a economia mundial e assim o sistema capitalista que a gerencia.

O Brasil possui mais de 80% da produção de energia baseado em seu potencial hídrico, ocupando posição pioneira frente a outros países de matriz energética petrolífera, porém, não está imune à crise energética, considerando que outros setores da economia como o transporte, ainda dependem quase que integralmente do petróleo e seus derivados. Por esse motivo é importante investir em tecnologias que sejam capazes de absorverem de forma eficiente todo o potencial hídrico.

Para combater a crise energética serão necessárias medidas criativas, focadas em desenvolver novas tecnologias que utilizem fontes de energias renováveis, além de aperfeiçoar a eficiência da geração de energia e a produção de bens e transportes, diminuindo assim, as perdas energéticas das tecnologias já existentes. Ressalte-se que a resposta à crise energética não está na adoção de uma fonte específica, mas sim em um conjunto de medidas geradoras ou redutoras de perdas energéticas. Dentre essas medidas citamos a incorporação de tecnologias capazes de aproveitar e otimizar os pequenos potenciais existentes em todo o território nacional, como também a “produção virtual”, alcançada pelo combate ao desperdício através da educação da população. Outro aspecto importante no processo de geração é o impacto ambiental. Processos concentrados são capazes de gerar grandes quantidades de energia, entretanto, provocam grandes impactos ambientais e sociais.

A Teoria do Desenvolvimento Sustentável segundo Braga *et al.*(2005) propõe a Geração Distribuída como uma das medidas para o combate a crise energética. De acordo com Dias *et al.*(2012) a Geração Distribuída é definida de forma mais simples como uma fonte geradora localizada próxima às cargas consumidoras. De forma mais ampla ela inclui fontes oportunas de baixo impacto ambiental e renovável, como os painéis fotovoltaicos e a geração eólica.

Baseando-se no conceito de geração distribuída identificamos a possibilidade de utilização do potencial hídrico contido na malha de drenagem urbana, destinando-o para a produção de energia elétrica, ou seja, utiliza-se o fluxo d’água como motriz dos geradores de pequeno porte. Visualizamos que a presente proposta possui, pelo menos, duas vantagens: a primeira é a produção de energia limpa e renovável, minimizando os impactos da crise energética, e a segunda é auxiliar ao funcionamento da vida urbana, visando um reequilíbrio da bacia hidrográfica tão prejudicada com a expansão não planejada dos centros urbanos.

Este trabalho propõe o uso das águas da drenagem urbana para a geração de energia elétrica.

## 2. A IMPORTÂNCIA DA ÁGUA NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Segundo Braga *et al.* (2002), ao analisarmos nosso planeta, o que chama mais atenção é a grande quantidade de água existente, este bem natural cobre cerca de 70% da superfície terrestre, totalizando cerca de 1.386,00 milhões Km<sup>3</sup> ou 265.400,00 trilhões de toneladas de água. Essa visão nos faz acreditar ser impossível a ocorrência da escassez de água, porém, esses dados iludem quem acredita que toda essa água está acessível ou mesmo em condições de uso pela humanidade. Do montante total de água existente, menos de 3% da água é doce, sendo que 2,5% se encontram congeladas na Antártica, no Ártico e em icebergs, sobrando somente 0,5% para o consumo humano. Dos 0,5%, devem ser subtraídas as águas de difícil acesso ou que se encontram muito poluídas, restando apenas 0,003% ao alcance econômico, possibilitado pela nossa atual tecnologia.

Devido à importância da água, desde o surgimento das primeiras sociedades, os recursos hídricos possuem uma atenção exclusiva quanto ao seu transporte, armazenamento e distribuição, sendo o seu gerenciamento um fator crucial para garantir a prosperidade econômica. A água é o bem mais consumido pelo ser humano por ser fundamental para a manutenção da vida e para as necessidades diárias. Além disso, possui um papel crucial para a prosperidade econômica e o desenvolvimento tecnológico das sociedades, uma vez que está relacionada à geração de energia, produção agrícola e insumos industriais. Isso demonstra que o controle dos recursos hídricos sempre foi na história da humanidade um fator determinante para a prosperidade e supremacia de uma sociedade perante outras, ou mesmo como ferramenta de controle para com sua própria população, sendo utilizada de forma estratégica inclusive em questões políticas e militares. Em face da crise energética mundial anunciada para a metade deste século como resposta à escassez das reservas de petróleo, o gerenciamento dos recursos hídricos ganha maior importância devido a sua utilização na geração de energia elétrica, constituindo uma fonte renovável e limpa.

De acordo com Clarke e King (2005) o Brasil se destaca por possuir cerca de 12% a 16% da água acessível mundialmente e, por isso, tem um papel importante no desenvolvimento de melhores condições de fiscalização, controle e usos da água, podendo tornar-se modelo de gerenciamento dos recursos hídricos perante outros países. A ANA (2012) aponta como reflexo do potencial hídrico brasileiro o desenvolvimento de uma economia basicamente agrícola, responsável por consumir cerca de 54% dos recursos hídricos, somado a isto, temos que 81,90% da sua geração de energia é derivada de fonte hidráulica, como aponta o Gráfico 1 divulgado por MME. Balanço Energético Nacional (2012).

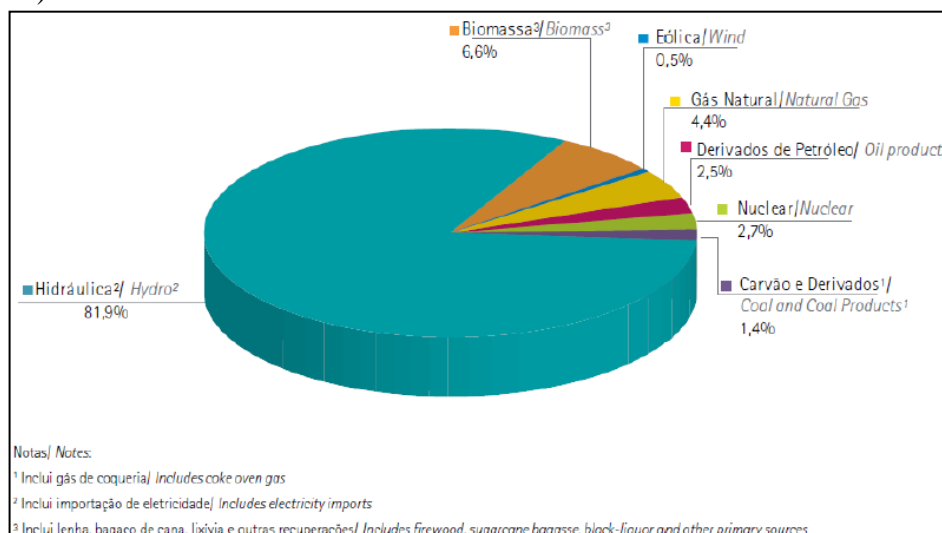


Gráfico 1 - Oferta brasileira de energia elétrica por fonte – Brasil. MME. Balanço Energético Nacional.

Essa estatística divulgada pelo Balanço Energético Nacional (2012) é invejada mundialmente, inclusive por grandes potencias emergente como a China. As vantagens obtidas por uma matriz energética baseada em energias renováveis e limpas são expressivas, vistas o seu impacto positivo na economia e na qualidade de vida da população, como: baixo impacto ambiental; potencial não finito resultando na baixa dependência de suprimentos energéticos externos; maior segurança do sistema de distribuição de energia interna; redução dos impactos causados pela crise energética, dentre outros.

### **3. A GERAÇÃO DISTRIBUIDA (GD) COMO SOLUÇÃO À CURTO PRAZO PARA A CRESCENTE DEMANDA ENERGÉTICA.**

A Teoria do desenvolvimento Sustentável lista um conjunto de medidas á curto prazo a serem tomadas de forma integrada e complementares, visando o combate a crise energética, sendo a Geração Distribuída uma delas. O conceito de GD, definida de forma oficial através do Decreto nº 5.163/2004, constitui a produção de energia localizada próxima aos centros de carga, conectada ao sistema de distribuição de pequeno porte e não despachada pelo NOS (Operador Nacional do Sistema elétrico), segundo Lopes (2011). Vergílio (2012) aponta que apesar desse termo já ser amplamente utilizado e representar uma real solução, eficiente e econômica em curto prazo para a crescente demanda energética, ainda não se chegou a um consenso quanto à sua faixa de potência de serviço, variando de alguns poucos Quilowatts até 300MW, tão pouco existem estudos aprofundados visando os impactos positivos e negativos, referentes à conexão em linhas de transmissão.

As vantagens das GD's podem ser devido à fácil e rápida instalação; baixo custo de investimento e manutenção; geram pouco ou nenhum impacto ambiental; podem contribuir de forma a reduzir perdas no sistema de distribuição; quando corretamente dimensionado proporcionam maior confiabilidade e qualidade da energia distribuída, dentre outros. Já as desvantagens das GD's ocorrem quando mal dimensionada, podendo: afetar a qualidade da energia fornecida; comprometer a segurança tanto de equipamentos quanto dos funcionários da distribuidora; aumentar o risco de choque para os funcionários, resultado do fenômeno do ilhamento; passar a funcionar como motor, consumindo energia da rede, dentre outros.

A regulamentação das GD's no país ainda é recente, a ANEEL (2012) divulgou em 17/04/2012 a aprovação de regras voltadas para o estímulo das GD's no Brasil, porém, ainda faltam diretrizes e normas focadas nos procedimentos de regulamentação das conexões na baixa tensão para diferentes tipos de fontes GD, bem como no sistema de fiscalização a ser implementado. O país conta hoje com uma norma denominada de *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica do Sistema Elétrico Nacional* (PRODIST) elaborado pela ANEEL, com o objetivo de nortear e regulamentar aspectos da rede de distribuição da alta tensão. O que serve como base para a interconexão de redes na baixa tensão e para as GD's.

Algumas concessionárias no Brasil já possuem determinada regulamentação própria para a conexão de GD para as redes de baixa e média tensão, como é o caso da Light Serviços de Eletricidade S.A. e da Ampla Energia e Serviços S/A. Porém, essas regulamentações são desassociadas, não possuindo um consenso padrão, o que pode resultar em dificuldades e problemas como os já citados Trevisan (2011). A norma IEEE N<sup>o</sup> 1547, desenvolvida pelo Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos dos Estados Unidos, constitui uma referência na qual o Brasil pode se basear, uma vez que abrange um conjunto de critérios e requisitos técnicos para a interligação de fontes de GD nas redes de baixa tensão.

#### **4. A MICROGERAÇÃO HIDRELÉTRICA COMO GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.**

*“Para produzir a energia hidrelétrica é necessário integrar a vazão do rio, a quantidade de água disponível em determinado período de tempo e os desníveis do relevo, sejam eles naturais, como as quedas d’água, ou criados artificialmente” ANEEL (2008).*

Embasada nesta citação, concebemos a ideia deste trabalho, na qual a geração de energia elétrica se dá através da captação das águas de drenagem urbana, destinando os fluxos artificiais formados ao longo da malha drenante para a alimentação de geradores de pequeno porte. Esse tema se justifica na importância de se investir em pesquisas voltadas às GD’s, principalmente as provindas de fontes hídricas, sendo este um recurso abundante no país. Ao se captar as águas urbanas através das malhas de drenagem, ocorre a formação de pequenos cursos d’água, possibilitando a exploração de seu potencial hídrico para fins de geração de energia elétrica. A estrutura proposta se assemelha as de Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH’s), que operam com barragens de desvio ou a fio d’água, em rio com acidente natural e potencial hidráulico igual ou inferior a 1MW (um megawatt). Devido ao tema deste estudo possuir grande semelhança com as CGH’s, adotam-se como referência as situações físicas e legislativas para o seu desenvolvimento.

Os componentes de uma CGH são similares aos de outras hidroelétricas de maior porte, constituído por barragens, sistema de captação ou sistema de adução, casa de máquinas, gerador, vertedouro, sistemas de controle e sistema de segurança e manutenção. Diferentemente das CGH’s, que realizam a adução d’água a partir do curso de rios, a proposta tem por objetivo a utilização das águas captadas pelo sistema de drenagem urbana. Como resultado deste sistema Thiago Filho (2008) se prevê alguns problemas relacionados a longos períodos de estiagem ou mesmo a qualidade da água captada, sendo estes fatores determinantes para a viabilidade da proposta. Para sanar este problema da sazonalidade das chuvas e estiagem, é proposta a adoção de pequenos reservatórios subterrâneos, estrategicamente posicionados ao longo da malha de drenagem, sendo eles do tipo off-line. A opção por reservatórios subterrâneos se dá pela ausência de áreas disponíveis para a construção a céu aberto, uma vez que o estudo é direcionado ao ambiente urbano, podendo ser aproveitado o subsolo de parques, praças e estacionamentos. Outro argumento a favor da adoção dos reservatórios subterrâneos é por estes minimizarem a incidência de doenças para os moradores próximos, ao contrário dos reservatórios a céu aberto ou “piscinões”, como os construídos na cidade de São Paulo, demandando maiores cuidados devido aos impactos causados à saúde urbana, conforme relata Lacrete (2013): *“os piscinões recebem toda a poluição difusa das galerias e, por conta disso, proliferam bactérias, mosquitos e aí essa estrutura passa a ser uma causadora de doenças para quem vive no entorno”*.

A vantagem da adoção deste sistema contempla o prolongamento do período de abastecimento dos geradores, aumentando a eficiência do sistema e contribuindo para a sua viabilidade. A partir de estudos apontando o correto dimensionamento, é previsto outros benefícios advindos da adoção destes reservatórios, como a redução do risco de enchentes e a possibilidade do reequilíbrio hidrológico da bacia hidrográfica, isto porque é notório que as enchentes tornaram-se problema crônico das cidades brasileiras, em sua maioria resultado das grandes áreas impermeabilizadas, sendo este o reflexo da falta de um planejamento urbano adequado ou de diretrizes norteadoras. Medidas como a correção do curso de rios ou o alargamento dos leitos, com intuito do aumento da vazão, foram tomadas na tentativa de solucionar esses problemas, porém, não foram de grande eficácia, uma vez que a tendência dos rios é retornarem ao seu curso natural, ou mesmo por em alguns casos o problema ter sido transferido para a cidade à jusante do curso do rio.

Em suma, temos que os reservatórios subterrâneos poderão ser dimensionados não só para a produção de energia, mas também visando o reequilíbrio do ciclo hidrológico da bacia, retornando o fluxo das águas à situação de pré-urbanização, sendo seus benefícios sensíveis ao longo de toda a bacia, evitando o assoreamento dos rios e proporcionando o retorno do seu ecossistema. Apesar das obras dos reservatórios serem caras, pode-se reduzir seu custo através do retorno econômico devido o aproveitamento das águas captadas para geração de energia elétrica. A Figura 1 refere-se à implantação de um reservatório de retenção de águas pluviais (off-line), do programa águas do Distrito Federal (DF), sendo os projetos estruturais e geotécnicos feitos pela empresa SITUARE Arquitetura + engenharia. A Figura 2 demonstra o posicionamento do reservatório cilíndrico de aço.



Figura 1 - Reservatório subterrâneo Off-line, localizado sob estacionamento próximo ao shopping Conjunto Nacional, Brasília-DF - SITUARE, Arquitetura + Engenharia



Figura 2 - Reservatório subterrâneo Off-line - GRAF. *Cuves en acier*. 2009

No entanto, é preciso ficar a tento à qualidade das águas captadas pelas malhas de drenagem urbana, pois a presença de material sólido pode causar avarias nos geradores e entupir as tubulações, comprometendo o sistema de drenagem e reduzindo a produção de energia elétrica. Uma forma de diminuir os riscos para os geradores, para o sistema coletor d'água e para saúde humana, é adotar um sistema de gradeamento, que removerá as partículas sólidas carregadas pelas águas, reduzindo os riscos de assoreamento e entupimento do sistema de drenagem. A adoção de grades ao longo da malha de drenagem resulta em menor volume de lixo escoado através do arraste das águas para os cursos dos rios, reduzindo dessa forma os impactos causados ao seu curso.

Ainda sobre o arraste de sólidos, temos um problema que o sistema de gradeamento não consegue resolver, que são os danos causados às pás das turbinas por sólidos de dimensões inferiores como a areia, o que prejudica o funcionamento das mesmas, aumentando a necessidade de manutenção. Uma alternativa às turbinas são as rodas d'água, que por sua simplicidade e robustez demandam menos manutenção. Suas características as tornam atraentes em ambientes hostis, suportando o choque de materiais sólidos arrastados pelo fluxo d'água sobre suas pás, como pode ser visto na Figura 3. Outro fator que viabiliza o seu emprego é devido às baixas rotações dos rotores, proporcionados por baixas quedas ou pequenas vazões de escoamento, não prejudicando a geração de energia, como visto na Figura 4.



Figura 3 - Rodas d'água como alternativa as turbinas - Alterima.  
*Rodas d'água*



Figura 4 - Rodas d'água como alternativa as turbinas - Alterima. *Rodas d'água*

## 5. CONCLUSÃO

Com aproveitamento dos pequenos cursos d'água, é possível a exploração de seu potencial hídrico para fins de geração de energia elétrica representando assim, uma economia para a cidade de São Paulo.

A implantação desse sistema traz algumas vantagens: geração de energia limpa e renovável, auxiliando no combate a crise energética; redução de enchentes em regiões de risco; reequilíbrio do ciclo hidrológico da bacia hidrográfica; melhoria da qualidade da água escoada para o curso dos rios; melhoria da qualidade de vida da população urbana. Entretanto há alguns questionamentos que devem ser levados em conta como: a interferência do clima para o sistema (sazonalidade das chuvas), o tempo de retorno econômico do investimento, quais condições topográficas oferecem maior eficiência para o sistema e a quem pertencerá a energia produzida.

Ressalta-se que os reservatórios usados para acumulação de água na cidade de São Paulo, combate as enchentes, segundo dados da DAEE (2013). No município existem hoje 30 piscinões em funcionamento, sendo que, segundo Macedo (2013), há mais 8 piscinões em fase de construção e há a previsão desse numero subir para 15, ampliando sua capacidade de armazenamento de 10 milhões m<sup>3</sup> para 22 milhões m<sup>3</sup>. Dessa forma a adoção dos reservatórios subterrâneos pelo governo de São Paulo auxilia para a redução dos riscos de enchentes através da retenção das águas, distribuindo a vazão de escoamento de pico segundo o comportado pelo sistema de drenagem e pelos rios.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. (2012). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil*. Ed. Especial. Brasília. p. 52.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL.(2008). *Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Parte II: Fontes Renováveis. Cap. 3: Energia Hidráulica*. p. 2.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL.(2012). *ANEEL aprova regras para facilitar a geração de energia nas unidades consumidoras*. Nota divulgada em: 17/04/2012. Disponível em <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output\\_Noticias.cfm?Identidade=5457&id\\_area=90](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=5457&id_area=90)> Acesso em 24/02/2013.

BRAGA, B. *et al.* (2005). *Introdução à Engenharia Ambiental*. Ed. São Paulo. Prentice Hall. p. 57-59 e 73-74.

CARDOSO, C. F. (1996). *O Egito Antigo*. Ed. São Paulo, Brasiliense, p. 14.

CLARKE, R. T.; KING, J. (2005). *O Atlas da água*. São Paulo, Publifolha, p. 93 - 95.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. (2013). Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos, Governo de São Paulo. Disponível em <[http://www.dae.sp.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=60%](http://www.dae.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=60%>)> Acesso em 24/04/2013.

DIAS, M. *et al.* (2012) – *Geração distribuída no Brasil: oportunidades e barreiras*. Revista Brasileira de Energia Vol. 11/Nº 2.

FILHO, T. *et al.* (2008). *Pequenos aproveitamentos hidroelétricos: Soluções energéticas para a Amazônia*. Ministério de Minas e Energia. Brasília. p. 25 e 26.

LACRETA, L. (2013). Copo prestes a transbordar: Os “piscinões” são a melhor alternativa de combate às enchentes em São Paulo? Entrevista concedida à LILLO, V. Publicado em Ambiente Legal. Disponível em: <<http://www.ambientelegal.com.br/copo-prestes-a-transbordar/>> Acesso em 10/02/2013.

LOPES, P. H. S. (2011). *O Papel da ANEEL na Regulação da Geração Distribuída*. São Paulo. Disponível em <<http://www.tec.abinee.org.br/2011/arquivos/s410.pdf>> Acesso em 12/02/2013. p. 5.

MACEDO, L. (2013). *SP anuncia lançamento de edital de PPP para construção de piscinões*. G1 São Paulo. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2013/03/sp-anuncia-lancamento-de-edital-de-ppp-para-construcao-de-piscinoes.html>> Acesso em 24/04/2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. (2012). *Balanço Energético Nacional. Ano base 2011*. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Rio de Janeiro, p. 16

TREVISAN, A. S. (2011). *Efeitos da Geração Distribuída em Sistemas de Distribuição de Baixa Tensão*. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p. 48 e 49.

VERGÍLIO. K. E. P. (2012). *Geração distribuída e pequenas centrais hidrelétricas: alternativas para a geração de energia elétrica no Brasil*. Universidade de São Paulo São Carlos. p. 11.