

Estudo da Viabilidade de Geração de Eletricidade por meio da Energia Cinética Presente nas Tubulações de Águas Residenciais

Feasibility Study of Electricity Generation through Kinetic Energy Present in Residential Waters Pipes

Rafael O. Rosa¹, Roberto F. dos Santos Júnior², Luciano Galdino³, Thiago A. A. de Assumpção^{4*}

Resumo: Em um cenário de crescimento populacional e desenvolvimento econômico, é de se esperar um grande aumento da demanda por energia. Nestas condições, a estratégia de expansão da oferta de energia deve considerar iniciativas que promovam o uso racional e eficiente das fontes existentes. Este trabalho apresenta um estudo de viabilidade da geração de eletricidade por meio da energia cinética presente nas tubulações de águas residenciais, com o objetivo de determinar a capacidade da geração de energia por meio de um micro-hidrogênio e verificar a possibilidade do mesmo ser considerado como energia renovável, diversificando assim as atuais fontes geradoras e contribuindo de forma significativa com a redução do consumo de energia elétrica em uma residência. De acordo com as metodologias descritas, os resultados obtidos foram embasados em um protótipo desenvolvido com o intuito de coletar informações a fim de fundamentar o estudo. Com base nessas informações, foi possível verificar que a viabilidade de sua aplicação, quando comparada a capacidade de geração do sistema com o investimento realizado para sua implantação e quanto ao retorno econômico financeiro, não pode ser considerada adequada para aplicações residenciais, mas provavelmente em ambientes com alto consumo de água.

Palavras-Chave: Geração de energia. Tubulações residenciais. Energia Cinética.

Abstract: In a scenario of population growth and economic development, a large increase in demand for energy is to be expected. Under these conditions, the energy supply expansion strategy should consider initiatives that promote the rational and efficient use of existing sources. This paper presents a feasibility study of electricity generation through the kinetic energy present in residential water pipes, which the objective is to determine the capacity of the energy generation through a micro-hydrogenerator and verify the possibility of it being considered as a renewable energy, thus diversifying the current generation sources and contributing significantly to reducing the consumption of electric energy in a residence. According to the methodologies described, the results obtained were based on a prototype developed with the purpose of collecting information in order to base the study. Based on these informations, it was possible to verify that the viability of its

application, when comparing the generation capacity of the system with the investment made for its implementation and the financial economic return, it is not suitable for residential applications, but probably in high water consumption environments.

Keywords: Power generation. Residential pipes. Kinetic energy.

I. INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda um estudo relacionado a viabilidade da geração de eletricidade por meio da energia cinética presente nas tubulações de águas residenciais, através da utilização de um micro-hidrogênio que transformará a energia cinética captada pelo fluxo da água em energia mecânica e, posteriormente, em energia elétrica. Atualmente, no Brasil, a produção de energia é centralizada, sendo que mais de 75% da energia produzida são provenientes de usinas hidrelétricas. Este tipo de geração enfrenta uma crescente restrição com relação a sua expansão, devido aos impactos ambientais e altos custos de transmissão e distribuição (SOSNOSKI, 2015).

Segundo o INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (2017), no período entre 2017 e 2021, prevê-se que o consumo no Sistema Interligado Nacional (SIN) crescerá à taxa média de 3,6% ao ano. A classe residencial deve registrar valores de crescimento médio anual de aproximadamente 3,8%.

Portanto, o objetivo deste estudo é determinar a capacidade de geração de energia por meio de um micro-hidrogênio e verificar a possibilidade do mesmo ser considerado como energia renovável, diversificando assim as atuais fontes geradoras e contribuindo de forma significativa com a redução do consumo de energia elétrica em uma residência, ou ainda a dependência que as mesmas apresentam em relação ao sistema elétrico do país.

Como uma forma alternativa para redução do consumo de energia elétrica no SIN, temos a Geração Distribuída (GD), que consiste na geração de energia elétrica próxima ao local de consumo, ou no próprio estabelecimento consumidor. Dois tipos de operações estão relacionados a GD, sendo o primeiro caracterizado pela geração que atende à carga em paralelo com o sistema elétrico, denominado *grid-tie*, e o segundo caracterizado por ser um sistema isolado da rede elétrica,

¹ Acadêmico no Curso de Engenharia Mecatrônica, Centro Universitário ENIAC.

² Acadêmico no Curso de Engenharia Elétrica, Centro Universitário ENIAC.

³ Mestre em Ciências e Professor nos cursos de Engenharia, Centro Universitário ENIAC (luciano.galdino@eniac.edu.br).

⁴ Doutor em Ciências, Professor nos cursos de Engenharia e Pesquisador do NUPE – Núcleo de Pesquisa ENIAC, Centro Universitário ENIAC. (thiago.alexandre@eniac.edu.br). *Para quem o contato deve ser realizado.

denominado *off-grid* (NARUTO, 2017).

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

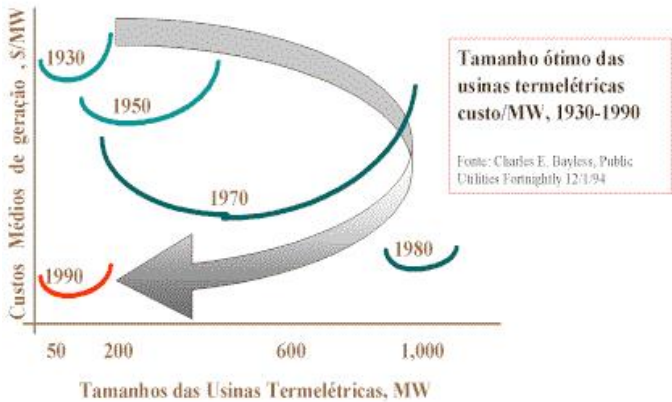
A. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A geração distribuída não é novidade com relação ao setor elétrico, durante a primeira metade do século este conceito já era aplicado para suprir a demanda energética local, que era consideravelmente inferior aos parâmetros atuais, não havendo a necessidade de construir grandes usinas, o que tornava este método de geração majoritário (NARUTO, 2017).

Entretanto, a partir da década de 40, o aumento exponencial pela demanda de energia reduziram os custos da geração em centrais de grande porte, incentivando a construção de usinas e diminuindo o interesse pelos centros geradores próximos às unidades consumidoras. Em meados dos anos 80, com o fim do monopólio da geração de energia elétrica o desenvolvimento tecnológico voltou a ser estimulado, ocasionando grandes resultados na redução dos custos de geração (INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2017).

A Figura 1 apresenta uma relação de custos médios de geração por tamanhos de usinas termelétricas (MW).

Figura 1 – Custos médios de geração.



Fonte: INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2017.

Neste contexto, o crescimento populacional e o desenvolvimento econômico contínuo exigem uma oferta de energia cada vez maior, o que geralmente se ampara na ideia de construir novas usinas, despertando o interesse pela geração distribuída. Segundo Rodríguez (2002) e Moreira (2010), a geração distribuída traz inúmeras vantagens tanto para os consumidores finais quanto para as concessionárias fornecedoras de energia.

Embora a geração distribuída seja uma boa alternativa para produção de energia e apresente inúmeras vantagens com relação a outros métodos de geração, de acordo com Duarte (2010) e Lopes (2011), a mesma ainda possui alguns inconvenientes de extrema importância e que devem ser levados em consideração durante o planejamento de implantação deste sistema. O Quadro 1 apresenta algumas vantagens e desvantagens da geração distribuída.

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens da Geração distribuída (GD)

Vantagens	Desvantagens
O consumidor poderá reduzir suas despesas, caso a eletricidade gerada tenha um custo menor do que o de suprimento convencional de energia elétrica	Complexidade da operação da rede elétrica, que passa a ter fluxo bidirecional
Ideal para locais com baixa densidade populacional ou de difícil acesso da rede elétrica	Alteração nos procedimentos de operação, controle e proteção da rede de distribuição
Redução das perdas nas linhas de transmissão e distribuição	Controle da tensão em períodos de baixa demanda
Melhor planejamento de expansão da oferta de energia	Alteração dos níveis de curto-circuito das redes
Aumento da confiabilidade no suprimento de energia elétrica	Aumento da distorção harmônica da rede
Redução dos impactos ambientais	Intermitência da geração, seja pela incerteza da disponibilidade de combustível (vento, radiação solar, água, etc.) ou pela falha dos equipamentos
Aumento da autonomia e do poder de decisão dos consumidores individuais e das comunidades locais	Alto custo de implantação

Fonte: Autor.

No Brasil, a geração distribuída ainda se encontra em desenvolvimento e as diretrizes para utilização deste sistema é estabelecida pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, que trata da micro e da minigeração de energia elétrica, onde o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia a partir de fontes renováveis.

Esta resolução também estabelece um sistema de compensação o *net-metering*. Caso haja geração excedente a mesma poderá ser utilizada em outra unidade consumidora desde que pertença ao produtor e seja atendida pela mesma concessionária de distribuição local, ou ainda este excedente poderá ser convertido em crédito para ser utilizado em um prazo de 36 meses subsequentes, caso contrário após este período, os créditos irão expirar.

Os custos relacionados a adaptação da rede local para implantação do sistema como conexão e substituição do medidor de faturamento, serão de responsabilidade do produtor, porém custos relacionados a eventuais aplicações ou aprimoramentos no sistema de distribuição, serão de responsabilidade da concessionária de distribuição local.

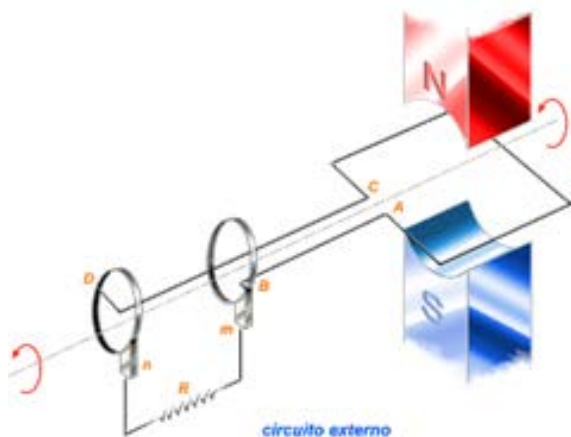
B. TRANSFORMAÇÃO DA ENERGIA MECÂNICA EM ELÉTRICA

Energia é definida como a capacidade de realizar trabalho, pode apenas ser transformada ou transferida, mas nunca criada ou destruída (HALLIDAY, 2006).

Para que haja a transformação da energia mecânica em energia elétrica pode-se utilizar um dínamo (micro-hidrogerador). O dínamo é composto por um ímã fixo em um

eixo móvel, em volta desse eixo existe um fio condutor enrolado, constituindo um conjunto de espiras chamado de bobina. O princípio de funcionamento dos dínamos em geral (Figura 2), tanto de corrente contínua como de corrente alternada, é por meio de indução eletromagnética em um quadro plano que gira num campo magnético uniforme, que é explicado pela Lei de Lenz, que estabelece que o sentido da corrente induzida é oposto a variação do campo magnético que a gera, ou seja, a variação de campo magnético gera corrente elétrica (ESTEVEÃO, 2017).

Figura 2 – Esquemática do funcionamento do dínamo.



Fonte: Página da E-FÍSICA (2007).

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Como ferramenta de auxílio, para monitorar e controlar o sistema do estudo em questão, optou-se pela utilização do Arduino, modelo MEGA 2560 R3, uma plataforma de prototipagem educacional, flexível, de baixo custo e simples de operar.

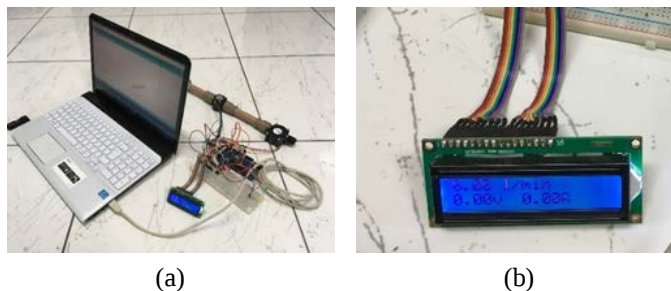
Por meio desta plataforma, foi elaborada uma programação para coletar as informações relacionadas aos sensores de tensão, corrente e fluxo de água, implementadas a um micro-hidrogerador com capacidade de gerar uma tensão de 12 V com potência de saída de 10 W, ambas dependentes do fluxo de água ao qual o dispositivo será submetido, que transformará a energia cinética presente em uma tubulação de água residencial captada pelo fluxo de água, em energia elétrica.

Os dados coletados referentes a tensão, corrente e o fluxo de água necessário em litros por minuto (l/min), para fazer com que o micro-hidrogerador trabalhe em seu máximo, ou seja, gerando uma tensão de 12 V e uma potência de saída de 10 W, são enviados ao arduino, que além de exibir estas informações em um display, interpreta estes dados com base na lógica pré-estabelecida para atender uma carga de 12 V, enviando um sinal de 5 V para o módulo relê, fechando seu contato normalmente aberto (NA), possibilitando a passagem do fluxo de energia gerado para que o mesmo possa ser utilizado para alimentar uma lâmpada ou até mesmo carregar uma bateria.

A Figura 3 apresenta os testes iniciais para verificação da

lógica de programação, destacando a montagem do sistema para medição (Figura 3a), e o display onde são apresentadas as informações coletadas pelo Arduino (Figura 3b).

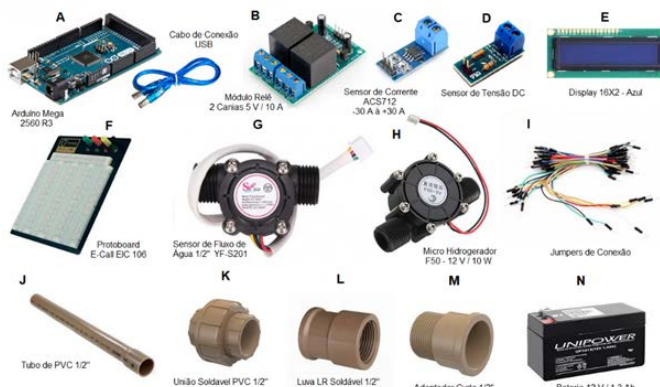
Figura 3 – Testes iniciais da lógica de programação para medição e monitoramento das informações. (a) Sistema de controle com (b) Display para apresentação das informações monitoradas.



Fonte: Autor.

Foram utilizados os materiais apresentados na Figura 4 para executar a montagem do protótipo.

Figura 4 – Materiais utilizados para montagem do protótipo.



Fonte: Autor.

IV. RESULTADOS

Após alguns testes realizados para verificação do correto funcionamento do protótipo e da lógica de programação, foi conectado o dispositivo à uma rede de água residencial, para coletar as devidas informações. A Figura 5 apresenta a conexão do protótipo à rede de água residencial.

Com o protótipo em funcionamento, conectado à rede de água residencial, foi possível observar o fluxo de água necessário em litros por minuto (l/min) para que o micro-hidrogerador alcançasse toda sua capacidade, gerando uma tensão de 12 V e uma potência de saída de 10 W.

Figura 5 – Conexão do protótipo à rede de água residencial.



Fonte: Autor.

Através das leituras realizadas pelo Arduino, com base na lógica de programação pré-estabelecida em função dos sensores de tensão, corrente e fluxo de água o resultado exibido no display do protótipo foi um fluxo de água de 6,67 l/min, sendo este suficiente para gerar uma tensão de saída de 12,16 V e uma corrente de 0,83 A. A Figura 6 apresenta o resultado obtido.

Figura 6 – Resultados da tensão e corrente em função da vazão.



Fonte: Autor.

Com os valores de tensão e corrente coletados pelo Arduino e exibidos no display, foi possível determinar a potência fornecida pelo micro-hidrogerador através da equação a seguir:

$$P = U \cdot i \quad (1)$$

Onde:

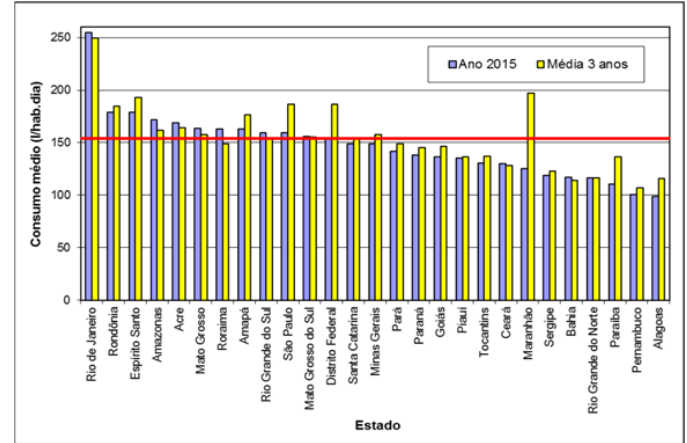
P = Potência; U = Tensão; i = Corrente.

$$P = 12,16 \cdot 0,83 \rightarrow P \cong 10,09 \text{ W}$$

Como ponto de partida, para determinar a capacidade de geração do protótipo desenvolvido, foram analisadas algumas informações referentes ao Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto em 2015, apresentado pela SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL (SNSA).

Segundo o SNSA (2017), a Figura 7 mostra o consumo médio per capita dos prestadores de serviços participantes do SNIS, em 2015 e a média dos últimos 3 anos, em cada estado do Brasil.

Figura 7 – Diagrama do consumo médio per capita de 2015 nos estados brasileiros.



Fonte: Autor.

Por meio da Figura 7 é possível observar que, em 2015, a média de consumo per capita do país é de 154,0 l/hab.dia, indicada pela linha vermelha.

Para simular a capacidade de geração do sistema implantado em uma residência, foi adotado como referência a média de consumo per capita do país, junto a média de habitantes por domicílio que, segundo o INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2010), equivale a 3,34 habitantes.

Tendo em vista a média de consumo per capita e média de habitantes por domicílio foi possível determinar a média de consumo de água por domicílio dia, da seguinte maneira.

$$C_{(dom/dia)} = Média diária \cdot habitantes por domicílio \quad (2)$$

$$C_{(dom/dia)} = 154 \cdot 3,34 \rightarrow C_{(dom/dia)} \cong 514,36 \text{ l/dia}$$

Utilizando a média de consumo de água por domicílio/dia, foi possível determinar a quantidade de consumo de água por domicílio/mês, da seguinte maneira.

$$C_{(dom/mês)} = C_{(dom/dia)} \cdot dias no mês \quad (3)$$

$$C_{(dom/mês)} = 514,36 \cdot 30 \cong 15.430,80 \text{ l/mês}$$

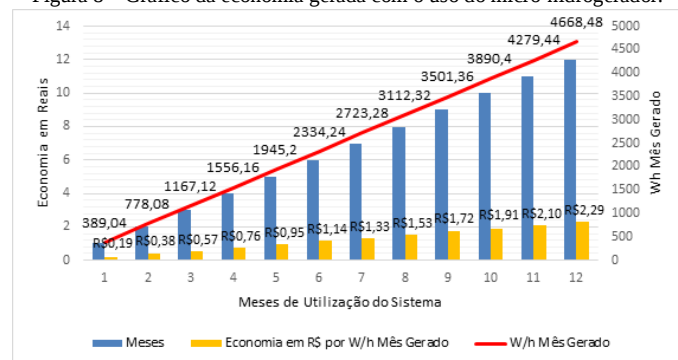
Convertendo os 6,67 l/min, obtido no arranjo experimental, em litros por hora (l/h), chega-se na vazão Q de 400,2 l/h. Sabendo que a média do consumo de água é de 15430,80 litros por domicílio por mês, e que 400,2 l/h e que a potência média do gerador é de 10,09 W, então a energia gerada em um mês será de:

$$E_{(mês)} = \frac{C_{(dom/mês)}}{Q_{(litros/hora)}} \times P_{(gerada em 1 hora)} \quad (4)$$

$$E = \frac{15.430,80 \text{ l}}{400,2 \text{ l/h}} \times 10,09 \text{ W} \rightarrow E \cong 389,04 \text{ Wh}$$

Segundo a AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (2017), a tarifa média residencial nacional (Grupo B1), expressa na unidade de R\$/kWh é de R\$ 0,49, sem contemplar tributos e outros elementos que fazem parte da conta de luz, tais como ICMS, PIS/PASEP, COFINS e Taxa de Iluminação Pública. Considerando esta informação como referência, a Figura 8 apresenta uma estimativa com relação a economia financeira gerada, através da utilização do protótipo desenvolvido para produzir energia elétrica por períodos de 1 a 12 meses.

Figura 8 – Gráfico da economia gerada com o uso do micro-hidrogerador.



Fonte: Autor.

V. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos através do desenvolvimento e aplicação do protótipo, para este tipo de micro-hidrogeração, apresenta uma baixa economia por domicílio.

Levando em consideração o investimento de R\$ 185,04 realizado apenas para adquirir os materiais utilizados na montagem do protótipo (Figura 4), com base na tarifa média nacional de R\$ 0,49 (reais por quilowatt-hora), sem contemplar nenhum tipo de tributo, utilizando este protótipo para gerar 4.668,48 Wh durante o período de 12 meses, teríamos um payback de aproximadamente R\$ 2,29. Continuando com esta mesma linha de raciocínio, para recuperar o investimento de R\$ 185,04, seria necessário permanecer com o mesmo em funcionamento por um período de 80,8 anos.

Por se tratar de uma residência, onde os níveis de fluxo e consumo de água são relativamente pequenos, a aplicação deste conceito torna-se inviável, porém estes resultados apontam que tal sistema poderá ser adotado em locais nos quais há grandes níveis de fluxo e consumo de água como, por exemplo, tubulações de grande porte, estações de tratamento de esgoto (ETEs), universidades, edifícios residenciais, edifícios comerciais, indústrias de grande porte, setores da indústria que utilizam grandes volumes de água como a têxtil e a laminação, entre outros.

Estudos mais precisos e detalhados ainda são necessários, o dispositivo precisa ser aprimorado, para assim solidificar-se como uma forma de ampliação na oferta de energia, tornando-se uma fonte limpa e renovável, frente à escassez de alternativas e ao aumento do consumo de energia elétrica.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Ranking das Tarifas**. 2017. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

_____. **Resolução Normativa N° 482**, de 17 de Abril de 2012. 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2017.

DUARTE, T. A. F. **A Microgeração e o Poder Local**. 50p. Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Economia Local. Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, Portugal, 2010.

E-FÍSICA. **Dínamos ou geradores mecânicos de eletricidade**. In: **Eleticidade e Magnetismo (Básico): Eletromagnetismo - O Terceiro fenômeno Eletromagnético - Indução Eletromagnética**. Disponível em: <<http://efisica.if.usp.br/eleticidade/basico/induca/dinamos/>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

ESTEVÃO, Vanks. **Como funciona um dínamo?** Disponível em: <<http://www.efetojoule.com/2008/06/como-funciona-dinamo-bicicleta.html>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Mecânica 1**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006. v.1.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010: Famílias e Domicílios**. Resultados da Amostra. Rio de Janeiro, 2010. 203 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/97/cd_2010_familias_domicilios_amostra.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **O que é Geração Distribuída**. 2017. Disponível em: <http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp>. Acesso em: 29 out. 2017.

LOPES, P. H. S. **O Papel da Aneel na Regulação da Geração Distribuída**. Superintendência de Regulação dos Serviços de Distribuição, São Paulo, 2011.

MOREIRA, R. I. P. **Avaliação do Potencial Eólico em Regime de Microgeração**. Dissertação realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores Major Energia. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2010. 131p.

NARUTO, Denise Tieko. **Vantagens e Desvantagens da Geração Distribuída e Estudo de Caso de Um Sistema Solar Fotovoltaico Conectado À Rede Elétrica**. 2017. Monografia para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017. 97p. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10020290.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2017.

PARANÁ, Djalma Nunes da Silva. **Física**. 6. ed. São Paulo: Ática, 2003. 400p. (Novo Ensino Médio).

RODRÍGUEZ, C. R. C. **Mecanismos Regulatórios, Tarifários e Econômicos na Geração Distribuída: O Caso dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à rede**. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos Faculdade de Engenharia Mecânica – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2002. 135p.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos** – 2015. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2017. 212 p. Disponível em: <<http://www.snias.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>>. Acesso em: 28 nov. 2017.

SOSNOSKI, A. S. K. B. **Produção de Energia por Mini e Micro Hidroelétricas na Rede de Distribuição de Água**. Dissertação para obtenção do título de mestre em Engenharia Hidráulica e Sanitária. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.