



Encontro Internacional sobre Gestão
Empresarial e Meio Ambiente

OS BENEFÍCIOS E DESAFIOS DA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE NO CONTEXTO DA SUSTENTABILIDADE

SIMONE SARTORI

simone.eng.prod@gmail.com

GABRIEL SHINJI KUMM KURIYAMA

gabrielshinjikummkuriyama@gmail.com

TIAGO HENRIQUE DE PAULA ALVARENGA

thpalvarenga@hotmail.com

BRUNO SANTOS VIEIRA

brunosanvi@gmail.com

LUCILA MARIA DE SOUZA CAMPOS

Universidade Federal de Santa Catarina

lucila.campos@ufsc.br

OS BENEFÍCIOS E DESAFIOS DA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE NO CONTEXTO DA SUSTENTABILIDADE

THE BENEFITS AND CHALLENGE OF ELECTRICITY GENERATION IN THE SUSTENTABILITY CONTEXT

RESUMO: O acesso à eletricidade e outras formas de energia são os principais fatores no desenvolvimento econômico e social de um país. Ao mesmo tempo, a conversão da eletricidade e a sua utilização final é reconhecida como um dos principais contribuintes para o aquecimento global. Nesse contexto, o objetivo do presente artigo é apresentar os tipos de geração da eletricidade e com isso, os aspectos positivos e negativos são discutidos no contexto da sustentabilidade. As fontes de eletricidade foram selecionadas e discutidas de acordo com os seus fatores de conversão, sendo: hidráulica, de biomassa, térmica, nuclear, eólica, solar, geotérmica. Como resultado, uma abordagem conjunta é oferecida, focando nas dimensões sociais, econômicas e ambientais. O crescente interesse em energias renováveis vem sendo desencadeada em parte, pela crescente preocupação com a poluição, esgotamento dos recursos e as possíveis implicações nas mudanças climáticas, dado o uso continuado de combustíveis fósseis convencionais (óleo, carvão, gás natural). A transição para geração de eletricidade renovável é reconhecida como essencial para apoiar o desenvolvimento sustentável. Porém, o desafio é como atender a demanda global de energia elétrica, uma vez que carece de investimentos para usá-la de forma eficiente.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Impactos da Eletricidade; Energia Renovável.

ABSTRACT: Electricity and other energy access are major factors in economic and social development. At the same time, electricity conversion, and end use, is recognized as a major contributor to global warming. In what follows, this paper aims to present the types of generation of electricity and thereby, the major benefits and challenges of electricity generation are discussed in the context of sustainability. The electricity sources were selected by their conversion factors: hydropower, biomass, thermal, nuclear, wind, solar and geothermal. As a result, certain joint reflection might be offered, focusing on environmental, social and economic dimensions. The growing interest in renewables has been prompted in part, by increasing concern over the pollution, resource depletion and possible climate change implications of our continuing use of conventional fossil (oil, coal and natural gas). The transition to renewable electricity generation is recognized as essential to support sustainable development. However, the challenge is how to fulfilling the growing global demands for electricity, as it lacks investments to use it efficiently.

Key Words: Sustainability; Impacts of Electricity; Renewables Energy.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a energia é um dos recursos mais importantes e ao mesmo tempo uma das preocupações mais relevantes em todo o mundo devido ao esgotamento rápido de combustíveis não renováveis, o aquecimento global e a mudança climática (LIRA-BARRAGAN et al., 2014). De forma geral, o setor tem necessidades de recursos e impactos intensivos, assim como infraestrutura extensiva (GEO 5, 2014). Alguns dos efeitos causados pela geração de energia são de longo alcance tanto geograficamente quanto temporalmente.

O sistema de geração de energia, tomado como um todo, é o maior sistema do mundo e tem o maior impacto de qualquer indústria sobre as condições do ambiente na Terra. Dentro do setor de energia, a eletricidade tornou-se a favorita para o consumidor final; ademais, se tornou indispensável e a sociedade moderna é totalmente dependente do fornecimento abundante de eletricidade (GÓMEZ-EXPÓSITO; CONEJO; CAÑIZARES, 2009).

O atual sistema econômico, construído sobre a ideia de crescimento perpétuo, baseia-se de forma desconfortável em um sistema ambiental que está restrito pelos limites biofísico (UNEP, 2012; GEO 5, 2014). Isto é, a demanda excessiva por geração de energia prejudica o meio ambiente e, em um cenário no qual se verifica uma tendência de crescimento na demanda de energia mundial, principalmente em decorrência da melhoria da qualidade de vida nos países emergentes, eleva-se a preocupação com os inúmeros aspectos de planejamento de políticas energéticas (MARTINS; GUARNIERI; PEREIRA, 2008).

Ademais, somam-se os problemas sociais. Por exemplo, em 2012, 18% da população mundial não teve acesso à eletricidade, e muitas áreas do mundo não têm abastecimento de energia confiável e segura (WEO, 2015). Sem acesso aos serviços de energia, as pessoas devem gastar muito tempo e energia física em atividades básicas de subsistência, e por sua vez, a falta de energia está correlacionada com muitos indicadores de pobreza, tais como a educação deficiente, cuidados de saúde inadequada, as dificuldades impostas às mulheres e crianças (KAYGUSUZ, 2007).

As conferências e declarações mundiais confirmaram que a prestação de serviços energéticos adequados e em custos acessíveis, de forma segura e ambientalmente benigna, em conformidade com o desenvolvimento social e econômico é um elemento essencial para o desenvolvimento sustentável (GEO 5, 2014).

Atualmente, a sustentabilidade continua um assunto importante dada às evidências que a atividade humana sobre o sistema Terra está seguindo uma trajetória insustentável (GUPTA et al., 2014). Os impactos da sociedade sobre o sistema estão causando grandes mudanças não só nas paisagens físicas, mas também em paisagens sociais, políticas e de negócios. Por um lado, as inovações e mudanças tecnológicas devem estimular o aperfeiçoamento de políticas e regulamentações, novos produtos e serviços, em âmbito nacional e internacional, (GEO 5, 2014).

Por outro lado, a capacidade dos diferentes setores industriais em incorporar fontes de energia renováveis em seus processos varia muito, dependendo da natureza do produto final e diversas limitações operacionais (IEA, 2014). A escolha das fontes de geração de eletricidade exige uma avaliação apropriada, que envolve o conhecimento de impactos x benefícios. Ademais, envolve uma compreensão correta da adoção de medidas compensatórias adequadas com o objetivo de fornecer serviços de suprimento de energia sustentáveis (CAMARGO et al., 2004).

Nesse contexto, o objetivo do presente artigo é: (i) Apresentar os tipos de geração da eletricidade; e, (ii) Identificar os aspectos positivos e negativos em relação aos diferentes tipos de geração de eletricidade. Além da introdução, esse artigo apresenta as seções de revisão de literatura, método, resultados e discussões, e por fim, as considerações finais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sustentabilidade

A sustentabilidade foi definida a partir de um longo processo histórico, bem como, a tomada de consciência sobre os problemas ambientais, crises econômicas e desigualdades sociais (SARTORI; LATRÔNICO; CAMPOS, 2014). Por ser um conceito complexo e contínuo, surgem diferentes abordagens que tentam entender e explicar a sustentabilidade.

A palavra sustentável apareceu pela primeira vez em 1610, significando suportável ou defensável (WU, 2013). De acordo com o dicionário de etimologia Online (<http://www.etymonline.com/>), a palavra sustentabilidade surgiu mais tarde, em 1907, usada em referência à objeção legal, e em sentido geral (economia, agricultura e ecologia). Já o termo desenvolvimento sustentável foi definido pela Comissão Mundial sobre Meio ambiente e Desenvolvimento – Relatório de Brundtland, como “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades da geração presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades” (WCED, 1987, p. 55).

O relatório de Brundtland enfatiza que escolhas devem ser feitas. Uma vez que o desenvolvimento sustentável não é um estado fixo de harmonia, mas sim um processo de mudança no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos e do desenvolvimento tecnológico são feitas de acordo com o futuro, bem como as necessidades atuais. A definição do desenvolvimento sustentável apresentada no relatório de Brundtland permite diferentes interpretações, é um conceito geral e difícil de definir em termos precisos (PARRIS; KATES, 2003).

Em anos recentes, muitas definições foram dadas para sustentabilidade. Por exemplo, significa o consumo de recursos com pouco impacto adverso interno ou externo (MORIK; BHADURI; KARGUPTA, 2012). A sustentabilidade significa continuar (como na existência ou um determinado estado ou intensidade), manter-se (sem diminuição, interrupção, sinalização, etc.) ou prolongar-se (HASNA, 2010). Sustentabilidade é uma característica de sistemas dinâmicos que se mantêm ao longo do tempo (SAMIMI et al., 2011).

Elkington (1994) propôs o Triple Bottom Line (TBL) para enfatizar que as atividades econômicas têm consequências sociais e ambientais importantes, no qual as empresas devem assumir a responsabilidade. E esta se tornou a visão de sustentabilidade mais adotada no campo empresarial, uma vez que atende as dimensões econômica, social e ambiental (SICHE et al., 2007). O desempenho econômico reflete o sucesso organizacional no mercado e aos acionistas; o desempenho ambiental mostra a conformidade com a legislação governamental e a administração para um grupo de clientes com consciência ambiental; e, o desempenho social mostra o gerenciamento dos stakeholders, principalmente a força de trabalho e a comunidade local (SRIDHAR, 2012).

A sustentabilidade consiste em buscar um equilíbrio sistêmico entre o governo, empresas e a sociedade, pois todos fazem parte do sistema que trata das relações dos organismos entre si e com o meio ambiente. As demandas para a sustentabilidade corporativa são motivadas por vários fatores, incluindo os externos, tais como regulamentação, o medo da perda de vendas em relação à preferência dos consumidores, do declínio potencial na reputação; já os fatores internos são a melhoria da produtividade por meio da inovação tecnológica em relação à proteção ambiental (WANG; LI; SUEYOSHI, 2014).

Almeida (2002) considera que uma organização sustentável é aquela que busca a ecoeficiência em todas as suas ações e decisões, em todos os seus processos e produtos, incessante e permanentemente, ou seja, busca produzir mais e melhor com menos, mais produtos de melhor qualidade, com menos poluição e menos uso dos recursos naturais e com responsabilidade social. Ao longo dos anos vem ocorrendo uma mobilização ambientalista, um grau de amadurecimento das práticas e a consolidação de um perfil de atuação de

instituições numa perspectiva proativa e propositiva, dentro de moldes de sustentabilidade (HAY; DUFFY; WHITFIELD, 2014). A contínua degradação do planeta Terra é resultado de ações organizacionais voltadas para o crescimento econômico, e não atribuindo importância ao desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, a discussão sobre a relação entre desenvolvimento sustentável e energia vem sendo promovida por vários organismos internacionais voltados no atendimento da sustentabilidade (BORGES, 2012).

2.2 Geração de eletricidade

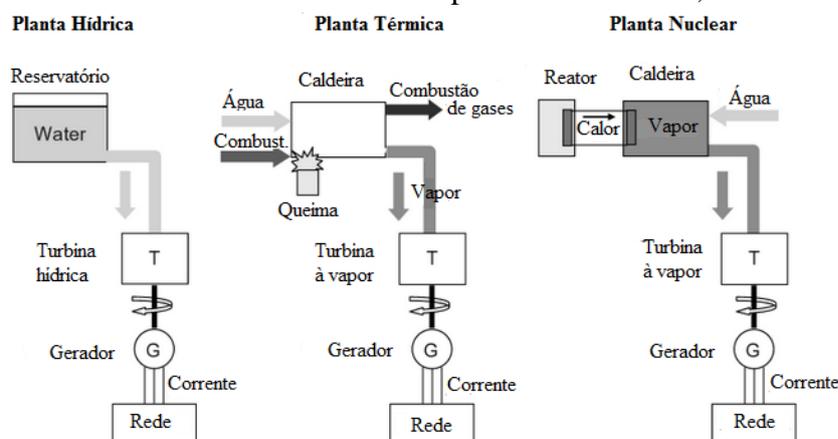
Os sistemas de geração de eletricidade têm se desenvolvido de forma similar em todos os países, convergindo em direção a uma estrutura e configuração muito semelhante (LALOUX; RIVIER, 2014). Isso se deve às características específicas desse produto, e pelo fato que, a geração, transmissão, distribuição e fornecimento estão condicionados ao equilíbrio instantâneo e permanente da oferta e demanda do produto.

A eletricidade é definida por uma série de propriedades que a distinguem de outros produtos (LALOUX; RIVIER, 2014): (i) Não é suscetível, na prática, para ser armazenada ou inventariada; (ii) Deve ser gerada e transmitida, uma vez que é consumida, portanto, deve haver um equilíbrio entre oferta e demanda; (iii) Os sistemas elétricos são dinâmicos, complexos e imensos; (iv) A transmissão é determinada por leis de Kirchoff, em que a distribuição de corrente depende da impedância nas linhas e outros elementos por onde corre a eletricidade.

A eletricidade necessária para atender as necessidades de consumo é gerada em centros de produção comumente chamados de usinas ou estações, onde a fonte de energia primária é convertida em energia elétrica com características bem definidas (GÓMEZ-EXPÓSITO; CONEJO; CANIZARES, 2009).

A exploração dos recursos naturais é o primeiro passo para converter a energia em eletricidade, o que se dá por meio da mineração de carvão, extração de petróleo ou gás natural, urânio, desvios de água e barragens, ou por meio da força do vento ou dos raios do sol (OECD/IEA, 2014). Existem muitas tecnologias de geração e geralmente estão associadas com o combustível usado. As centrais de energia convencionais são divididas em centrais hidrelétricas, térmicas e nucleares, como mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Sistema de funcionamento das plantas hidrelétrica, térmica e nuclear.



Fonte: Pérez-Arriaga, Rudnick, Abbad (2014).

Ademais, há outros tipos de geração de eletricidade que gradualmente adquiriram importância em algumas áreas e países (GOMEZ-EXPOSITO; CONEJO; CANIZARES,

2009). Essas fontes de energia são frequentemente chamadas de plantas alternativas, caracterizadas pelo uso de fontes renováveis de energia: eólica, solar e biomassa.

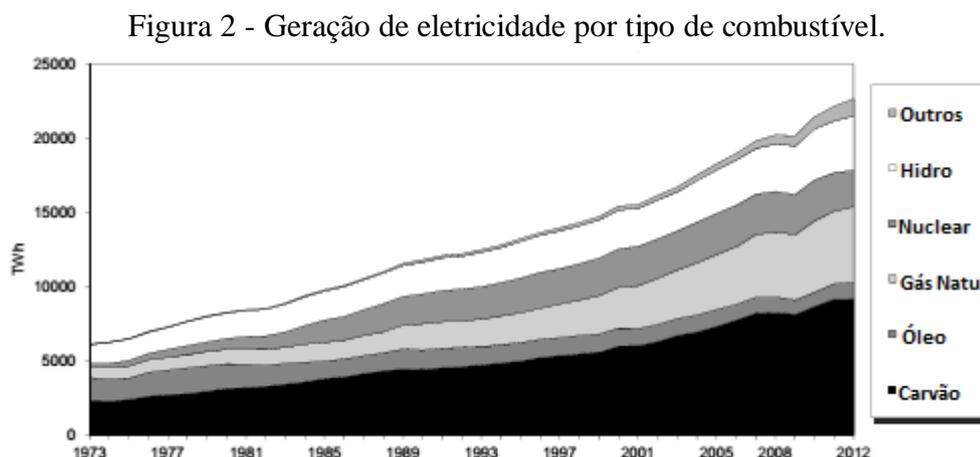
Desde os anos 1970, a quota global da eletricidade da energia total aumentou de 9% para 17% (IEA, 2014). Entretanto, as taxas de crescimento regionais na demanda real são muito diferentes: nos países da OCDE a demanda permanece estagnada, com uma média de 16%; nas regiões não pertencentes a OCDE, o crescimento é elevado, atingindo 300%.

Em 2012, 67,7% da produção mundial de eletricidade foi gerada por meio da queima de combustíveis fósseis; 16,5% correspondem às usinas hidrelétricas; 10,8% correspondem às usinas nucleares; 1,9% correspondem aos biocombustíveis e resíduos; e 3,1% restantes correspondem a geração de eletricidade por meio da energia geotérmica, solar, eólica (OECD/IEA, 2014).

Em muitas regiões é possível uma combinação entre a disponibilidade do vento e da luz do sol, do calor e da força para gerar eletricidade. Essas correlações podem ocorrer em diferentes escalas de tempo: num curto prazo dentro do mesmo dia (dias de sol podem ser menos ventoso e vice-versa) e no nível sazonal (o outono pode ser mais ventoso e o verão mais ensolarado). Da mesma forma, a disponibilidade de água em usinas hidrelétricas mostra variações sazonais. Encontrar a combinação de tecnologias pode, assim, equilibrar a variabilidade em cada componente, levando a uma diversificação que corresponde à demanda estreita de eletricidade.

A diversificação da produção de eletricidade fornece uma medida importante de resiliência, pois os sistemas que dependem fortemente de uma única fonte de energia estão mais expostos aos impactos climáticos (EBINGER; VERGARA, 2011).

Muitas alternativas em relação à geração de eletricidade vêm sendo desenvolvidas ao longo dos últimos anos, levando em consideração questões ambientais, tecnológicas, políticas e sociais. Porém, conforme a Figura 2, prevalece o consumo de carvão e óleo para a geração de eletricidade, apresentando crescimento no período de 1973 à 2012.



Fonte: OECD/IEA (2014).

O contínuo aumento do uso de carvão é contrário à redução das emissões frente ao progresso recente na implantação das energias renováveis, sublinhando a necessidade de melhorar a eficiência da usina a carvão e ampliar a captura e armazenamento de carbono (EIA, 2014). A produção de eletricidade deverá aumentar regularmente, a uma taxa média de 3% por ano. Em 2030, mais de metade da produção será fornecida por tecnologias que surgiram nos anos noventa e posteriormente, como as turbinas de gás de ciclo combinado, as tecnologias avançadas do carvão e as energias renováveis (IEA, 2014).

3. MÉTODO

A partir dos objetivos do trabalho, procedeu-se com a definição dos critérios de seleção e coleta dos artigos, a análise de conteúdo e a apresentação dos resultados. A pesquisa bibliográfica buscou identificar, avaliar e interpretar um conjunto de documentos já registrados no banco de dados do portal Capes.

Nesse sentido, foi realizada uma revisão acerca do tema geração de eletricidade e sustentabilidade. A seguir, as palavras-chave “*electricity x Triple Bottom Line*”, “*electricity x sustainability*”, “*electricity x impacts/challenges*” foram combinadas. As palavras-chave foram usadas para recuperar as publicações que contêm pelo menos uma das palavras em *keywords* e “*abstract, title, keywords*”. Os artigos científicos foram identificados nas seguintes bases de dados: *Web of Knowledge (ISI)*, *Science Direct*, *Engineering Village*.

Analisaram-se as 8.418 publicações em relação aos seguintes aspectos: (i) artigos repetidos; (ii) idioma inglês; (iii) tipo *Journal Article*; (iv) títulos dos artigos alinhados ao tema de pesquisa avaliação da sustentabilidade; (v) resumos alinhados ao tema de pesquisa; e (vi) texto integral dos artigos alinhados com o tema da pesquisa. Não houve delimitação temporal das publicações.

Como resultado à análise de conteúdo dos artigos, procedeu-se com a identificação dos desafios, os impactos e os benefícios da geração de eletricidade. Com este intuito, é importante mencionar que os resultados que constam na seção a seguir permitem uma referência inicial sobre o tema sustentabilidade e eletricidade, mas não esgotam as inúmeras possibilidades existentes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Independente do tipo de geração de eletricidade algum impacto é gerado ao longo do processo. Os principais efeitos, vantagens e desvantagens são apresentados a seguir.

(a) Usinas hidrelétricas

A energia hidráulica é proveniente da irradiação solar e da energia potencial gravitacional, através da evaporação, condensação e precipitação da água sobre a superfície terrestre (ANEEL, 2002). A água, principal fonte de energia utilizada em usinas hidrelétricas, se expressa energeticamente em termos de taxa de fluxo e altura (GÓMEZ-EXPÓSITO; CONEJO; CAÑIZARES, 2009). A energia hidráulica é convertida por uma turbina em energia mecânica, caracterizada por o binário e a velocidade do veio acoplado ao gerador elétrico. Em outras palavras, a energia hidráulica é convertida em energia elétrica no gerador, produzindo tensão e corrente nos terminais da máquina.

Os locais mais favoráveis às instalações de plantas hidrelétricas são de alta queda, e se encontram geralmente nas ribeiras de grandes declives, formados por rápidos ou cascatas (ANEEL, 2008). Normalmente, para produzir a energia elétrica é preciso unificar os desníveis do relevo por meio da construção de barragem que interrompe o curso normal do rio e forma o reservatório. Assim, permite a captação da água em volume adequado e regulariza a vazão do rio em períodos de chuva ou estiagem (ANEEL, 2008).

Atualmente, a hidroeletricidade representa 2,3% do mix de energia global, sendo China, Brasil, Canadá, Estados Unidos e Rússia os maiores produtores (OPEC, 2014). A Noruega se destaca como o país com a maior percentagem de energia hidrelétrica em geração de energia doméstica (quase 95%), seguido pelo Brasil, Venezuela, Canadá e Suécia.

A geração de eletricidade por usinas hidrelétricas apresentam as seguintes vantagens (SPERLING, 2012): (i) O custo de operação é quase imune a aumentos nos custos dos

combustíveis fósseis, como o petróleo, gás natural e carvão; (ii) As plantas têm vida econômica longa - 50-100 anos; (iii) O custo da operação é baixo, uma vez que são plantas automatizados e com pouco pessoal no local durante a operação normal; (iv) Inúmero empregos gerados na fase de construção.

Por outro lado, a principal desvantagem se deve a interrupção do fluxo do rio e a inundação de uma vasta área (seja rural ou urbana) (SANTOS; LEGEY, 2013). Por conseguinte, desencadeia os seguintes impactos: (i) perda de biodiversidade; (ii) destruição de recursos; (iii) Remoção de pessoas nativas; (iv) Perturbações biológicas, físicas e químicas causadas pela transformação de um ecossistema lótico (rios) para um ecossistema lêntico (lagos).

(b) Usinas térmicas

Vapor ou térmica, a energia primária é fornecida por um combustível fóssil (carvão, óleo combustível ou gás). O princípio de funcionamento por trás dessas estações ocorre da seguinte maneira (GÓMEZ-EXPÓSITO; CONEJO; CAÑIZARES, 2009): (i) O combustível é queimado numa caldeira para produzir vapor de alta pressão; (ii) O vapor de alta pressão é convertido na turbina de vapor em energia mecânica; (iii) A energia mecânica, como em usinas hidrelétricas, é convertida em energia elétrica pelo gerador.

A eficiência térmica das centrais elétricas a vapor, que convertem o térmico mecânico em energia elétrica, depende essencialmente do valor calorífico do combustível utilizado. Em qualquer caso, a maior eficiência é até 45% (GEO 5, 2014). Devido à inércia térmica da caldeira, cerca de sete horas, as estações não podem ser facilmente ligadas e desligadas, isto é, elas são menos flexíveis neste aspecto do que instalações hidrelétricas. Além disso, as usinas térmicas podem precisar buscar alternativas, como resfriamento por ar, tratamento e uso de água de rejeito, o que pode levar a gastos maiores de capital (UNEP, 2010).

Entre os combustíveis fósseis, o uso do petróleo no setor de geração de eletricidade é marginal, responsável por aproximadamente 6% de toda a eletricidade gerada no mundo, 25% a menos que 1990 (OPEC, 2014). A queda significativa ao longo das últimas três décadas foi devido à substituição do petróleo pelo carvão, gás, energia nuclear e energias renováveis (ANEEL, 2008; OPEC, 2014).

Atualmente, o carvão é o principal combustível utilizado para geração de eletricidade em todo o mundo. Em 2013, o carvão foi usado para gerar mais de 40% da eletricidade mundial, e alguns países superam essa média: 44% Alemanha, 69% Austrália, 71% Índia, 81% China, 83% Polônia, 93% África do Sul, 95% Mongólia (WORLD COAL ASSOCIATION, 2015).

Tradicionalmente, o preço do carvão tem sido estável e baixo se comparado com outros combustíveis fósseis, e custa a metade do preço do gás natural considerando a base de teor energético (BREEZE, 2014). Como desvantagem, o carvão é o mais sujo dos combustíveis fósseis.

O gás natural, que representou 22% na geração de eletricidade mundial em 2011 (OPEC, 2014) é o principal combustível para as turbinas a gás, tem relativamente baixo impacto ambiental quando comparado ao carvão (BREEZE, 2014). Depois de limpo, o gás contém relativamente pouco ou nenhum sulfato de hidrogênio e nenhum metal pesado. Dependendo da composição do gás natural e do sistema de combustão da turbina em que o gás é queimado, a combustão poderá gerar algum monóxido de carbono e também algum material particulado, ambos resultantes da combustão incompleta dos componentes do material (BREEZE, 2014).

As turbinas a gás também geram dióxido de carbono da combustão de combustível de hidrocarboneto. A quantidade gerada de dióxido de carbono por cada unidade de eletricidade

é muito menor que uma estação de carvão, mas, as plantas com ciclos combinados são grandes emissores de dióxido de carbono.

De modo geral, os principais impactos das usinas termelétricas convencionais resultam da sua operação (SANTOS; HADDAD; HEWINGS, 2013). A combustão dos combustíveis fósseis lança uma quantidade significativa de dióxido de carbono para a atmosfera (BREEZE, 2014). Além disso, emite os gases de exaustão que podem provocar a chuva ácida, a mortalidade humana e o aquecimento global por meio de emissão de GEE (SANTOS; LEGEY, 2013).

(c) Usinas nucleares

As usinas nucleares, também conhecidas como usinas atômicas, consistem essencialmente de um reator nuclear que produz grandes quantidades de calor com a fissão nuclear do urânio (GÓMEZ-EXPÓSITO; CONEJO; CAÑIZARES, 2009). Esse calor é transferido para um fluido, dióxido de carbono, sódio líquido ou a água, e levado para um permutador de calor, no qual é transferido para um circuito de água. Tal como em estações de vapor, o restante do processo envolve a transformação do vapor em energia mecânica produzida numa turbina de vapor e depois em energia elétrica com um gerador de corrente alternada.

Em 2013, os reatores nucleares do mundo forneceram 2359 TWh de eletricidade. Isso representa cerca de 13% do consumo global de eletricidade (WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2015). As usinas nucleares são muito utilizadas na Europa, onde o relevo não permite a construção de hidrelétricas e os combustíveis fósseis são escassos (BURATTINI, 2008). Destacam-se alguns países com alta porcentagem de eletricidade fornecida por meio da geração nuclear em 2012, que representa 74,8% na França, 51% na Bélgica, 53,8% na Eslováquia, 46,2% na Ucrânia, 45,9% Hungria, 38,1% na Suécia.

Destaca-se que um único pellet de urânio do tamanho de um lápis contém a mesma quantidade de energia de 17.000 pés cúbicos de gás natural, £1.780 de carvão ou 149 galões de óleo (NEI, 2015). Não há emissões de dióxido de carbono, óxidos de azoto e dióxido de enxofre durante a produção de energia elétrica nas instalações de energia nuclear; mas sim, ocorre a produção de gases radioativos e resíduos líquidos durante a operação (NEI, 2015).

Em comparação com outras fontes de energia limpa, as plantas nucleares são relativamente compactas. A quantidade de eletricidade produzida por uma usina nuclear exigiria mais de 155 km² de painéis fotovoltaicos ou 466 km² de turbinas eólicas.

Por outro lado, há duas desvantagens para o uso das usinas nucleares (SANTOS; HADDAD; HEWINGS, 2013): (i) Segurança, isto é, a magnitude da catástrofe, no caso de um acidente, não importa o quão baixo o risco, e (ii) O problema de eliminar resíduos radioativos. Diante dessas dificuldades, alguns países impuseram uma moratória sobre a construção de usinas nucleares.

Após o acidente na estação nuclear Daiichi, Fukushima, em 2011, a tecnologia nuclear tem sido objeto de um maior controle, bem como, um desafio à aceitação por parte do público. Como resposta direta a esse acidente, o número de reatores em operação diminuiu, e a capacidade nuclear instalada mundial caiu cerca de 6GW (NUCLEAR ENGINEERING INTERNATIONAL, 2012). Por exemplo, o Governo chinês suspendeu a aprovação de novos projetos nucleares (SANTOS; HADDAD; HEWINGS, 2013).

Já a Alemanha anunciou a descontinuação da energia nuclear, um processo que será encerrado até 2022 (GEO 5, 2014). Da mesma forma, a Bélgica anunciou em Junho de 2012 que dois de seus reatores mais antigos (Doel-1 e Doel-2, que representam 900 MW de capacidade) serão fechados em 2015, após 40 anos de serviço. Além disso, está planejado o encerramento de outros cinco reatores até 2025 (OPEC, 2014).

A Suíça adotou uma posição similar. O Governo suíço decidiu suprimir progressivamente os seus cinco reatores que geram quase 36% da sua eletricidade. Está previsto para 2019 o encerramento do primeiro reator, e até 2034, toda a capacidade nuclear será desmantelada (GEO 5, 2014). Na Itália, o plano do governo para ter 25% da sua eletricidade fornecida pela energia nuclear até 2030 foi rejeitado por um referendo, em Junho de 2011 (SANTOS; HADDAD; HEWINGS, 2013).

Entretanto, o acidente na estação nuclear Daiichi em Fukushima serviu como uma oportunidade para melhorar a segurança contínua. Do ponto de vista tecnológico, as novas gerações de usinas de energia nuclear disponíveis no mercado são classificadas como evolutiva (Geração III e III+) e incorporam significativas melhorias técnicas e de segurança, quando comparado com as gerações anteriores (SANTOS; HADDAD; HEWINGS, 2013).

(d) Usinas de energia solar

Quase todas as fontes de energia (hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos) são formas indiretas de energia solar (ANEEL, 2002). Além disso, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica para aquecimento de fluidos, ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, através de efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico.

O termoelétrico caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, quando tal junção está a uma temperatura mais elevada do que as outras extremidades dos fios. Embora muito empregado na construção de medidores de temperatura, seu uso comercial para a geração de eletricidade tem sido impossibilitado pelos baixos rendimentos obtidos e pelos custos elevados dos materiais.

O efeito fotovoltaico decorre da excitação dos elétrons de alguns materiais na presença da luz solar (ou outras formas apropriadas de energia). Entre os materiais mais adequados para a conversão da radiação solar em energia elétrica, os quais são usualmente chamados de células solares ou fotovoltaicas, destaca-se o silício. A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica. Atualmente, as melhores células apresentam um índice de eficiência de 25,6% (GREEN et al., 2014).

A fonte de energia solar é abundante, mas a tecnologia está em desenvolvimento (GÓMEZ-EXPÓSITO; CONEJO; CAÑIZARES, 2009); e a geração de eletricidade em escala comercial tem como o principal obstáculo o custo das células solares, que ainda são bastante caras. Portanto, a sua implantação vem ocorrendo de forma lenta (IEA, 2014)

(e) Usinas de energia eólica

Denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas (também denominadas aerogeradores) ou por meio de cataventos e moinhos para trabalhos mecânicos, como bombeamento de água (ANEEL, 2002).

Assim como a energia solar, a energia eólica requer uma extensa quantidade de terra. Para fins de comparação, e tendo em conta a capacidade (ou fatores de carga), a área de terra coberta por uma estação de energia eólica da mesma produção de energia como uma estação de energia nuclear seria de cerca de 2.000 vezes maior.

Entretanto, a energia eólica é vista como uma das fontes de energia mais importantes para o século XXI (GWEC, 2012). O relatório sobre as perspectivas para a Energia Eólica

Global (The Global Wind Energy Council - GWEC) indica que, em 2050, um terço da eletricidade global poderá ser fornecido pelo vento. Como resultado, impediria a emissão de cento e treze milhões de toneladas de CO₂ para a atmosfera em 2050.

Nos últimos anos, o custo de geração de energia eólica estagnou em alguns países devido ao aumento constante da procura dos produtores, um investimento considerável na melhora tecnológica e no desenvolvimento e introdução de novos sistemas de geração (OLIVEIRA; FERNANDES, 2011). Portanto, o avanço tecnológico está rendendo ganhos de eficiência, tornando o preço competitivo. Como principal dificuldade, destaca-se que a produção pode estar afastada dos grandes centros urbanos, exigindo maiores investimentos em linhas de transmissão (SCHILLING; ESMUNDO, 2009).

(f) Biomassa

A utilização da biomassa como fonte de energia é uma das alternativas para se mitigar os malefícios do aquecimento global. A biomassa pode ser obtida através de duas fontes principais. Essas fontes são as culturas energéticas e os resíduos lignocelulósicos provenientes de atividades agroflorestais. Esta segunda alternativa oferece vantagem em destinar adequadamente potenciais poluidores do meio ambiente (PROTÁSIO et al., 2012).

Considerando a perspectiva de longo prazo, a biomassa é o maior potencial de fontes renováveis para o abastecimento energético, caracterizado, principalmente, pela sua diversidade de possibilidades em termos de origem e conversão de energia (LAMPREIA et al., 2011). O termo biomassa abrange matéria vegetal gerada pela fotossíntese e todos os seus subprodutos, tais como florestas, plantas cultivadas, resíduos agroindustriais, excrementos de animais e matéria orgânica de resíduos industriais ou urbanos.

No Brasil, são produzidos 14 milhões de toneladas de resíduos de madeira por ano, entre serragem, costaneiras, pé e ponta de toras, pó de serra e toras descartadas por falhas e defeitos, tanto de madeira plantada de Eucalyptus e Pinus, oriunda de seus 5,6 milhões de ha, como de florestas nativas (ALMEIDA et al., 2011).

As duas abordagens básicas tomadas nesta tecnologia são (GÓMEZ-EXPÓSITO; CONEJO; CAÑIZARES, 2009): (i) Combustão direta em fornos específicos para produzir vapor, posteriormente, usado num ciclo de turbina, como em estações de energia a vapor convencionais; (ii) A gaseificação da matéria orgânica para se obter um gás combustível, geralmente com elevado teor de metano utilizado para alimentar uma turbina ou motor de combustão interna de gás acoplada a um gerador elétrico. A matéria pode ser gaseificada com processos biológicos anaeróbios ou físico-químicos.

A biomassa pode ser utilizada diretamente para geração de calor ou de energia elétrica ou transformada em biocombustíveis sólidos tais como briquetes, péletes, etanol, biodiesel e biogás (DIAS et al., 2012). Os resíduos, quando aproveitados economicamente, apresentam uma vantagem ambiental sobre os combustíveis fósseis por se tratar de carbono neutro (ALMEIDA et al., 2011).

(g) Geotérmica

A energia geotérmica é originada no interior da crosta terrestre, geralmente sob a forma de água quente ou de vapor (IEA, 2014). Explorada em locais apropriados, existem basicamente duas formas de aproveitamento do recurso geotérmico: (i) para a geração de eletricidade utilizando o fluxo seco ou alta entalpia após vaporização; ou (ii) diretamente como calor para o aquecimento urbano, agricultura, etc.

A energia geotérmica vem do calor natural abaixo da superfície da Terra. Onde o vapor quente subterrâneo pode ser aproveitado e trazidos para a superfície pode ser utilizado para

gerar eletricidade. Tais fontes têm potencial geotérmico em certas partes do mundo, e cerca de 10.000 MW de capacidade está a funcionar. Há também perspectivas em outras áreas para bombear água subterrânea para regiões muito quentes da crosta terrestre e usando o vapor assim produzido para geração de eletricidade. As rochas são quentes, principalmente por causa de seus altos níveis de radioatividade, juntamente com o seu isolamento em profundidade. Mas problemas técnicos permanecem (WORLD-NUCLEAR, 2015).

Por exemplo, aproximadamente todo o fluxo de água geotérmico contém gases dissolvidos, sendo que estes gases são enviados para a central geotérmica juntamente com o vapor de água, acabando por se libertar para a atmosfera. Além disso, o odor desagradável, a natureza corrosiva, e as propriedades nocivas do ácido sulfídrico são causas que preocupam (GÓMEZ-EXPÓSITO; CONEJO; CAÑIZARES, 2009). Quando a concentração de ácido sulfídrico (H₂S) é relativamente baixa, o cheiro do gás causa náuseas. Em concentrações mais altas pode causar sérios problemas de saúde e até a morte por asfixia.

Portanto, é igualmente importante que haja tratamento adequado da água vinda do interior da Terra. Esses caudais não devem simplesmente ser eliminados para os cursos de água locais, de forma que não prejudique a fauna local.

Em sua forma geral, os avanços tecnológicos têm impulsionado a longa evolução do setor de energia, operando para aumentar os benefícios da eletricidade enquanto reduz os custos e riscos. Tais avanços têm expandido o fornecimento de eletricidade, aumentou a eficiência na transformação dos recursos energéticos brutos na forma de uso desejável final, melhorou a disponibilidade e a qualidade dos serviços de eletricidade enquanto reduzem seus custos monetários, bem como, a redução dos impactos ambientais negativos que resultam da extração de energia, conversão e uso (OLIVEIRA; FERNANDES, 2011).

Permanecem, entretanto, as recentes tendências na organização do setor de energia como um todo frente aos novos desafios globais, que levantaram preocupações sobre as capacidades nacionais e internacionais para trazer inovações nas próximas décadas. Nesse sentido, o Quadro 1 apresenta um resumo dos tipos de geração de eletricidade, os aspectos positivos e negativos.

Tabela 1 – Aspectos positivos e negativos da geração de eletricidade.

| Fontes geração | Aspectos Positivos | Aspectos Negativos | *Fonte |
|-----------------------|--|---|---|
| Hidrelétrica | <ul style="list-style-type: none"> - Custo de operação baixo e imune ao custo dos combustíveis fósseis; - Plantas com longa durabilidade; - Geração de inúmeros empregos durante a construção; - Não há emissão de CO₂ na geração de energia. | <ul style="list-style-type: none"> - Perda de biodiversidade; - Remoção de pessoas nativas; - Perturbações biológicas, físicas e químicas; - Mudanças nas chuvas tem impacto direto na geração de eletricidade. | <ul style="list-style-type: none"> (1) (2) (3) |
| Térmica | <ul style="list-style-type: none"> - Abundância de matéria-prima (combustíveis fósseis); - Planta com construção rápida e próxima a região de consumo. | <ul style="list-style-type: none"> - Elevada emissão de gases do efeito estufa; - Poluição térmica em rios e lagos; - Energia não-renovável. | <ul style="list-style-type: none"> (2) (4) |

| | | | |
|-------------------|---|--|-----------------------------|
| Nuclear | <ul style="list-style-type: none"> - Não libera gases estufa; - Exigência de pequena área para construção da usina; - Abundância de matéria-prima (urânio); - Independente de fatores climáticos. | <ul style="list-style-type: none"> - Catástrofe de alta magnitude em caso de acidentes; - Destinação inadequada na eliminação de resíduos radioativos; - Alto custo de instalação da planta. | (5) (6) (7) |
| Solar | <ul style="list-style-type: none"> - Proximidade entre a geração e o consumo; - Energia limpa e barata. | <ul style="list-style-type: none"> - Elevado custo das células solares; - Variação nas quantidades produzidas de acordo com a situação climática; - Formas de armazenamento ainda são pouco eficientes. | (8) (9) (10) |
| Eólica | <ul style="list-style-type: none"> - Fonte de energia inesgotável; - Pouca manutenção; - Não emite gases poluentes e não gera resíduos; - Fontes barata de energia. | <ul style="list-style-type: none"> - Impacto sonoro e visual - Impacto sobre as aves dos locais; - Intermitência. | (11) (12) |
| Biomassa | <ul style="list-style-type: none"> - Carbono neutro; - Fonte de energia doméstica e abundante; - Baixo custo da matéria-prima - Resíduos tornam-se insumo de outro processo. | <ul style="list-style-type: none"> - Pode ser afetados por mudanças nos regimes de cultivo; - Menor poder calorífico dada a baixa tecnologia desenvolvida; - Dificuldade no estoque e armazenamento. | (3) (13) (14) (15) |
| Geotérmica | <ul style="list-style-type: none"> - Elevada eficiência energética com baixa emissão de CO₂; - Não causa grande impacto no solo; - Plantas confiáveis. | <ul style="list-style-type: none"> - Alto custo inicial na instalação e operação; - Cheiros desagradáveis; - Relativa toxicidade provocado pelo H₂S; - Escassez de locais com potencial geotérmico. | (5) (10) (16) |

***Fonte:** (1) Sperling, 2012; (2) Santos, Legey, 2013; (3) Ebinger, Vergara, 2011; (4) Breeze, 2014; (5) World Nuclear Association, 2015; (6) Nei, 2015; (7) Santos, Haddad, Hewings, 2013; (8) ANEEL, 2002; (9) Green et al., 2014; (10) IEA, 2014; (11) Schilling, Esmundo, 2009; (12) GWEC, 2012; (13) Almeida et al., 2011; (14) Dias et al., 2012; (15) Protásio et al., 2012; (16) Gómez-Expósito, Conejo, Cañizares, 2009.

Observa-se, portanto que não há um tipo de geração de energia que traga apenas vantagens e não apresente nenhuma desvantagem. Dependendo do aspecto a ser analisado e priorizado (custo, risco, impacto ambiental negativo de curto ou longo prazo, disponibilidade de espaço ou de recursos, entre outros) um tipo de geração pode ser considerado mais adequada do que outro.

Além disso, os desafios na geração de eletricidade voltam-se atualmente para os seguintes aspectos (KAYGUSUZ, 2007; PEREIRA et al., 2011; EBINGER; VERGARA, 2011; SANTOS; LEGEY, 2013): (i) Aumento da demanda por eletricidade para veículos movidos a energia elétrica; (ii) Aumento da demanda por eletricidade renovável e de baixa

emissão de carbono; (iii) Aumento da demanda por tecnologias smart-grid, armazenamento de energia e serviços energeticamente eficientes; (iv) Danos à infraestrutura devido a eventos meteorológicos extremos; (v) Legislação/regulamentação mais rigorosa sobre emissão de gases de efeito estufa, qualidade do ar, descarga de efluentes líquidos e localização de usinas de energia. (vi) Limites à geração de eletricidade devido à escassez de água e potenciais conflitos com usuários competidores por recursos hídricos limitados; (vii) Limites regulatórios mais rigorosos sobre as emissões atmosféricas e efluentes líquidos; (viii) Acesso a populações desfavorecidas. Sob o contexto da sustentabilidade e seus impactos econômico, social e ambiental, há uma série de questões que precisam ser estudadas e aprofundadas.

As oportunidades no setor elétrico estão nas práticas e ações para o desenvolvimento sustentável, como a melhor utilização de recursos naturais, uso de fontes alternativas de energia e eficiência energética (IEA, 2014). A escolha do conjunto de plantas que entram em operação deve ir além da comparação entre as diferentes tecnologias e da minimização do custo total. Portanto, a quota de energias renováveis que deve estar presentes no mix de geração é um resultado originado a partir das características dos diferentes locais.

Em muitas regiões é possível desenvolver uma ligação entre a disponibilidade do vento, da luz do sol, do calor e da força. Essas correlações podem ocorrer em diferentes escalas de tempo: curto prazo, isto é, no mesmo dia (dias de sol podem ser menos ventoso e vice-versa) ou num nível sazonal (outono pode ser mais ventoso e o verão mais ensolarado). Da mesma forma, a disponibilidade de água em usinas hidrelétricas, muitas vezes mostra variações sazonais. Encontrar uma combinação de tecnologias energéticas pode equilibrar a oferta e demanda, e por sua vez, a inovação para fontes de energia renováveis.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muitas das atividades humanas têm efeito sobre o meio ambiente e a sociedade, e como já apresentado, a geração de eletricidade não é exceção (BREEZE, 2014). Atualmente, a geração de eletricidade se tornou uma necessidade, passando a ser recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento socioeconômico de muitos países e regiões. Os avanços tecnológicos na geração, transmissão e uso final de energia elétrica permitem que ela chegue aos lugares mais isolados do planeta, transformando regiões despovoadas ou pouco desenvolvidas em polos industriais e grandes centros urbanos.

Os impactos dessas transformações socioeconômicas e ambientais podem ser observados, e alguns desses efeitos são mais preocupantes que outros. Por exemplo, a poluição atmosférica resultante da combustão de carvão, óleo e gás tem efeitos claros e devem ser minimizados. Toda a forma de geração de eletricidade tem seus aspectos positivos e negativos.

Entretanto, as tecnologias de energias renováveis variam entre si em termos de desenvolvimento técnico e econômico, mas há uma variedade de opções cada vez mais atraentes dadas à baixa emissão de gases de efeito estufa e o uso inesgotável de fontes naturais. Ademais, há um enorme potencial para reduzir o consumo de energia, sem que tal implique uma redução na oferta de serviços energéticos.

Dessa forma, uma das sugestões para futuros trabalhos seria analisar de forma mais profunda os tipos de geração de energia considerando os impactos sociais, ambientais e econômicos com mais profundidade, ou seja, uma análise das vantagens e desvantagens sob a ótica da sustentabilidade ou do Triple Bottom Line.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo suporte financeiro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. **O bom negócio da sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2002.
- ALMEIDA, A.N.; ÂNGELO, H.; GENTIL, L.V. Demanda de briquete de madeira. **Floresta**, v.41, n.1, p.73-78, 2011.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2002.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2008.
- BORGES, F.Q. Administração pública do setor elétrico: indicadores de sustentabilidade no ambiente residencial do estado do Pará. **Revista de Administração Pública**, v.46, n.3, p.737-51, 2012.
- BREEZE, P. **Power Generation Technologies**. Second Edition: Elsevier, London 2014.
- BURATTINI, M.P.T.C. **Energia uma abordagem multidisciplinar**. Editora Livraria da Física, 2008.
- CAMARGO, A.S.G.; UGAYA, C.M.L.; AGUDELO, L. P. P. Proposta de definição de indicadores de sustentabilidade para geração de energia elétrica. **Revista Educação e Tecnologia**, v.0, n. 8, p. 51-60, 2004.
- DIAS, J.S.; SOUZA, D.D.; BRAGA, M. et al. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2012.
- EBINGER, J.; VERGARA, W. Climate impacts on energy systems: key issues for energy sector adaptation. **World Bank Publications**, 2011.
- EIA. **Energy Technology Perspectives** 2014. Disponível em <http://www.iea.org/bookshop/472-Energy_Technology_Perspectives_2014> Acesso: 15 Jun 2015.
- ELKINGTON, J. Towards the sustainable corporation: Win-win-win business strategies for sustainable development. **California Management Review**, v.36, n.2, p.90-100, 1994.
- GEO 5. **Environment for the future we want**. Neeyati Patel, 2014.
- GÓMEZ-EXPÓSITO, A.; CONEJO, A.J.; CAÑIZARES, C. Electric energy systems: analysis and operation. Taylor & Francis Group, CRC Press, 2009.
- GREEN, M.A.; EMERY, K.; HISHIKAWA, Y. et al.. Solar cell efficiency tables. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, n.22, p.701-710, 2014.
- GUPTA, S.; HARNISCH, J.; BARUA, D., et al. **Cross-Cutting Investment and Finance issues**. In: “Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. 2014. Disponível em <http://report.mitigation2014.org/drafts/final-draft-postplenary/ipcc_wg3_ar5_final-draft-postplenary_chapter16.pdf>. Acesso: 15 de março de 2015.
- GWEC. **Global Wind Energy Council**. Annual market update 2011. 2012. Disponível em <http://gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Annual_report_2011_lowres.pdf>. Acesso: 14 Mar. 2015.

HAY, L.; DUFFY, A.; WHITFIELD, R.I. The sustainability cycle and loop: models for a more unified understanding of sustainability. **Journal of Environmental Management**, v.133, p. 232-257, 2014.

HASNA, A.M. Sustainability classifications in engineering: discipline and approach. **International Journal of Sustainable Engineering**, v.3, n.4, p.258-276, 2010.

IEA. **World Energy Investment Outlook**. 2014. Disponível em <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEIO2014.pdf>>. Acesso: 13 Jan. 2015.

KAYGUSUZ, K. Energy for sustainable development: key issues and challenges. **Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy**, v. 2, n. 1, p. 73-83, 2007.

LALOUX, D.; RIVIER, M. **Technology and operation of electric power systems**. In: Pérez-Arriaga, I.J. (Eds). Regulation of the power sector. Springer, 2014.

LAMPREIA, J.; DE ARAÚJO, M. S. M.; DE CAMPOS, C. P. et al. Analyses and perspectives for Brazilian low carbon technological development in the energy sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.15, n.7, p.3432-3444, 2011.

LIRA-BARRAGAN, L.F.; PONCE-ORTEGA, J.; SERNA, M. et al. Optimal design of process energy systems integrating sustainable considerations. **Energy**, v.76, p.139-160, 2014.

MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; PEREIRA, E. B. O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.30, n.1, p.1304-1313, 2008.

MORIK, K.; BHADURI, H.; KARGUPTA, H. Introduction to data mining for sustainability. **Data Mining and Knowledge Discovery**, v.24, 311-324, 2012.

NEI. Nuclear Energy Institute. **About Nuclear Energy**. 2015. Disponível em <<http://www.nei.org/Knowledge-Center/FAQ-About-Nuclear-Energy>>. Acesso: 22Mar. 2015.

NUCLEAR ENGINEERING INTERNATIONAL. **The World Nuclear Industry Status Report 2012**. 2012. Disponível em: <<http://www.worldnuclearreport.org/The-World-Nuclear-Industry-Status.html>>. Acesso: 12 Dez. 2014.

OECD/IEA. **Electricity Information**. IEA Statistic 2014.

OPEC. **Annual Statistical Bulletin 2014**. Disponível em <<http://www.opec.org/library/Annual%20Statistical%20Bulletin/interactive/current/FileZ/Main.htm>> Acesso: 22 Jan. 2015.

PARRIS, T. M.; KATES, R. W. Characterizing and measuring sustainable development. **Reviews in Advances**, v.28, n.13, p.1-13, 2003.

PEREIRA, M.G.; SENA, J.A.; FREITAS, M.A.V et al. Evaluation of the impact of access to electricity: A comparative analysis of South Africa, China, India and Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 3, p. 1427-1441, 2011.

PÉREZ-ARRIAGA, I.J.; RUDNICK, H.; ABBAD, M.R. **Electric Energy systems - An overview**. Eds.: Gómez-Expósito, A.; Conejo, A.J.; Cañizares, C. In: Electric Energy systems: Analysis and Operation. Taylor & Francis Group, 2014.

SAMIMI, A. J.; GHADERI, S.; AHMADPOUR, M. Environmental sustainability and economic growth: Evidence from some developing countries. **Advances in Environmental Biology**, v. 5, n. 5, p. 961-966, 2011.

SANTOS, G.F.; HADDAD, E.A.; HEWINGS, G.J.D. Energy policy and regional inequalities in the Brazilian economy. **Energy Economics**, v.36, p. 241-255, 2013.

- SANTOS, H.L.; LEGEY, F.L.F. A model for long-term electricity expansion planning with endogenous environmental costs. **Electrical Power and Energy Systems**, v.51, p.98-105, 2013.
- SARTORI, S.; LATRONICO, F.; CAMPOS, L.M.S. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: uma taxonomia no campo da literatura. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 1, p. 1-22, 2014.
- SCHILLING, M. A.; ESMUNDO, M. Technology S-curves in renewable energy alternatives: Analysis and implications for industry and government. **Energy Policy**, v.37, n.5, p.1767-1781, 2009.
- SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente & Sociedade**, v. 10, n. 2, p. 137-148, 2007.
- SPERLING, E.V. Hydropower in Brazil: overview of positive and negative environmental aspects. **Energy Procedia**, v.18, n.110-118, 2012.
- SRIDHAR, K. Corporate conceptions of triple bottom line reporting: An empirical analysis into the signs and symbols driving this fashionable framework. **Social Responsibility Journal**, v.8, n.3, p.312-326, 2012.
- OLIVEIRA, W. S.; FERNANDES, A.J. Innovation and Technology Management in Wind Energy Cluster. **Energy and Environment Research**, v.1, n.1, 2011.
- PROTÁSIO, T. P.; BUFALINO, L.; MENDES, R. F.; RIBEIRO, M. X.; TRUGILHO, P. F.; LEITE, E. R. S. Torrefação e carbonização de briquetes de resíduos do processamento dos grãos de café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.11, p.1252-1258, 2012.
- UNEP. **New science and developments in our changing environment**. 2010. Disponível em <http://www.unep.org/pdf/year_book_2010.pdf>. Acesso: 15 de outubro de 2014.
- UNEP. **Unep Annual Report. 1972-2012 - Serving people and the planet**. 2012. Disponível em <http://www.unep.org/gc/gc27/docs/UNEP_ANNUAL_REPORT_2012.pdf>. Acesso: 25 Out. 2014.
- WANG, Derek; LI, Shanling; SUEYOSHI, Toshiyuki. DEA environmental assessment on US Industrial sectors: Investment for improvement in operational and environmental performance to attain corporate sustainability. **Energy Economics**, v. 45, p. 254-267, 2014.
- WCED. World Commission on Environment and Development. **Our common future**. Oxford University Press, 1987.
- WEO. **Energy and Climate change**. International Energy Agency, 2015. Disponível em:<<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2015SpecialReportonEnergyandClimateChange.pdf>>. Acesso: 22 Ago. 2015.
- WORLD COAL ASSOCIATION. **Coal Statistics**. 2015. Disponível em <<http://www.worldcoal.org/resources/coal-statistics/>>. Acesso: 11 Mai. 2015.
- WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, **Policy Responses to the Fukushima Accident**. 2012. Disponível em: <<http://www.world-nuclear.org/info/default.aspx?id=29733&terms=phase%20>>. Acesso: 11 Mai 2015.
- WU, J. Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes. **Landscape Ecology**, p. 1-25, 2013.