

ARMAZENAMENTO ENERGÉTICO EM REGIÕES SEMIÁRIDAS

Caio Tácito Miranda Castro Bezerra de Melo⁽¹⁾; Daniel de Paula Diniz⁽²⁾;
Ana Katarina Pessoa de Oliveira⁽³⁾; Monica Carvalho⁽⁴⁾

*(1) Programa de Pós-Graduação em Eng. Mecânica, UFPB.
caiotcastro@gmail.com*

*(2) Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis, UFPB.
danieldiniz@cear.ufpb.br*

*(3) Departamento de Contabilidad y Finanzas, Universidad de Zaragoza.
anakatoli@gmail.com*

*(4) Departamento de Engenharia de Energias Renováveis, UFPB.
monica@cear.ufpb.br*

Resumo: A utilização de energias renováveis ganha cada vez mais importância no mundo, em função de políticas de substituição das fontes energéticas de origem fóssil por fontes renováveis (transição energética). O Brasil é um país de dimensões continentais e está geograficamente posicionado numa zona de excepcional disponibilidade de fontes renováveis e portanto, a utilização destes recursos é de extrema importância, incentivando seu desenvolvimento tecnológico de modo sustentável. A utilização de energias renováveis no semiárido brasileiro não apresenta somente ganhos regionais (e.g., independência da rede elétrica) mas também ganhos nacionais, já que a matriz energética nacional também se beneficia, acumulando também benefícios ambientais devido a menor emissão de poluentes. Para atenuar as características de intermitência e variabilidade das energias renováveis, frequentemente se acoplam sistemas de armazenamento energético, cuja utilização proporciona estabilidade e qualidade ao sinal de energia. Tais sistemas são uma saída importante para massificação da eletricidade renovável, podendo minimizar o acionamento das termoelétricas em momentos de necessidade e tornar nossa matriz elétrica ainda mais renovável. Este trabalho apresenta uma revisão sistemática de literatura com o interesse de identificar estratégias para inserção de armazenamento energético em regiões semiáridas, demonstrando a viabilidade e aplicabilidade destas tecnologias no suporte à redução dos efeitos da intermitência e variabilidade sazonal das energias renováveis (sobretudo a solar e a eólica) nos mais diversos setores da região do semiárido nacional. A revisão foi realizada com base em artigos publicados em periódicos científicos e publicações em anais de eventos, na base de dados Periódicos CAPES. Descritores específicos na língua inglesa foram aplicados, assim como seus sinônimos e correspondentes na língua portuguesa e espanhola, em combinações variadas, levando em consideração a importância de encontrar todos os estudos relacionados com o assunto disponível na literatura e que, além de obedecerem aos critérios adotados, apresentassem elevada qualidade metodológica. A estratégia de busca elaborada forneceu um total de 119 estudos. Após a triagem pela leitura dos títulos e resumos, 18 estudos foram considerados potencialmente elegíveis e lidos na íntegra pelos avaliadores. Ao término das análises, 11 artigos preencheram todos os critérios de inclusão para o estudo, sendo publicados entre os anos de 2003 e 2018.

(83) 3322.3222

contato@conadis.com.br

www.conadis.com.br

Dentre os estudos selecionados, seis foram realizados em países desenvolvidos (Alemanha, Arábia Saudita, Austrália, Estados Unidos) e cinco em países em desenvolvimento (Argélia e Brasil). Os resultados obtidos neste trabalho evidenciam que assim como ocorreu em outros países, a instalação de sistemas de armazenamento de energia associados a utilização de fontes alternativas renováveis, favorece a que estas fontes (abundantes nas regiões semiáridas, mas consideradas intermitentes) se tornem mais estáveis e assim, mais competitivas em relação a energias fósseis e hidrelétricas. Conclui-se que a difícil situação das populações que vivem em regiões semiáridas pode ser atenuada pelos resultados de pesquisas científicas e tecnológicas. Experiências de sucesso em outras regiões semiáridas do mundo podem ser estendidas e adaptadas para o nordeste brasileiro, evidenciando que é possível melhorar as condições de vida em situações climáticas adversas, fazendo com que o desenvolvimento socioeconômico ocorra em sintonia com as avançadas tecnologias da atualidade e com a globalização, porém, com ações locais que respondam pelas demandas típicas de cada região, propiciando o desenvolvimento sustentável e atendendo parte considerável da população que atua nos mais diversos setores da economia nestas regiões.

Palavras-chave: Semiárido, energias renováveis, armazenamento elétrico, armazenamento de energia.

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de regiões semiáridas não é exclusividade do Brasil. Estas regiões caracterizam-se pela aridez do clima, precipitações irregulares no tempo e no espaço, e temperaturas elevadas (de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger referem-se às regiões BSh - clima semiárido quente e BSk - clima semiárido frio) (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2017). 41,3% de toda a superfície terrestre é constituída por terras áridas, semiáridas e subúmidas secas, e 7,7% corresponde a desertos (NAÇÕES UNIDAS, 2018).

Segundo Andrade *et al.* (2006, p. 57) “[...] as regiões semiáridas do globo terrestre se caracterizam pelo déficit hídrico e por um elevado saldo positivo de energia solar.”. O nordeste brasileiro tem, adicionalmente, fatores determinantes específicos tais como solos rasos, alta demanda evaporativa, retirada da cobertura vegetal e organização social (ANDRADE *et al.*, 2007).

A inserção de energias renováveis no semiárido brasileiro não apresenta somente ganhos regionais (independência da rede elétrica, por exemplo), já que a matriz energética nacional também se beneficia da contribuição, desconcentrando as fontes predominantes (hidrelétricas e termoelétricas). Desde um ponto de vista ambiental, maior produção de energia por meio de recursos renováveis está alinhada com as metas de redução de emissões de poluentes, para mitigar as mudanças climáticas e o aquecimento global. Porém antes de se introduzir a energia renovável, devem-se considerar técnicas e estratégias para gerenciamento de energia.

O gerenciamento de energia é o uso eficiente da energia para maximizar lucros (reduzindo custos) e aumentar competitividade, enquanto atende às demandas energéticas. Isto pode ser alcançado por meio do ajuste e otimização de sistemas energéticos e seus procedimentos, tanto do lado da demanda quanto do lado do fornecimento. A Figura 1 mostra um resumo das estratégias para gerenciamento da energia.

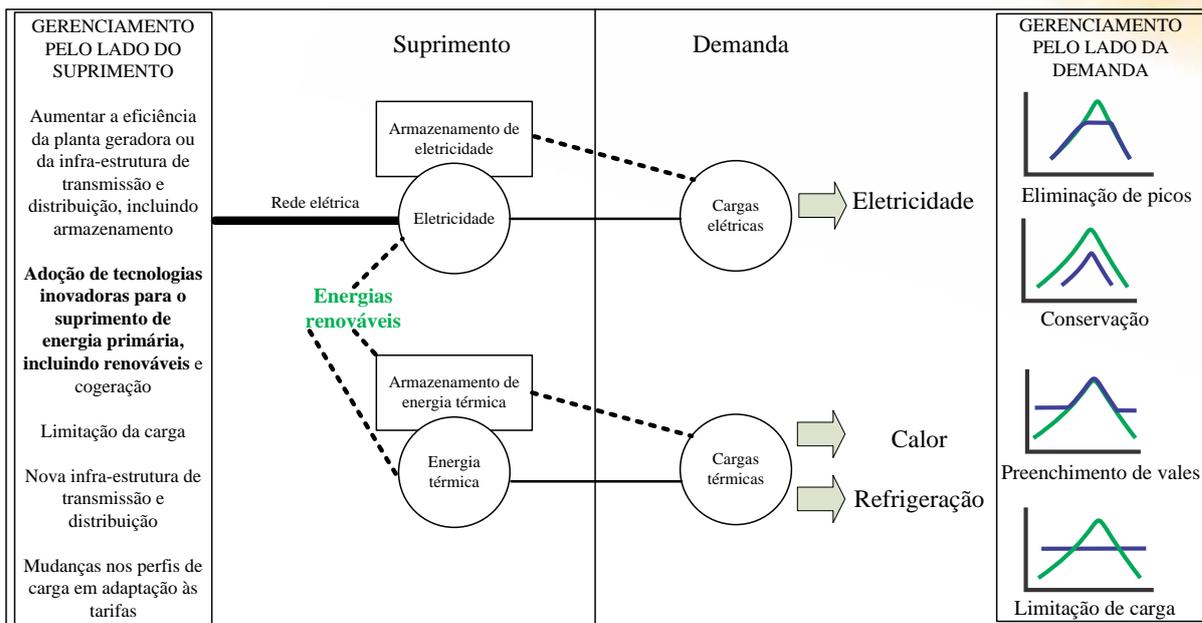


Figura 1 Esquema simplificado para atividades de gerenciamento energético em cidades (adaptado de Carvalho e Millar, 2012).

Os sistemas energéticos a base de recursos renováveis são peças-chave para apoiar o desenvolvimento sustentável e a proteção do clima. No entanto esta tarefa é intrinsecamente difícil: o grande desafio é como acomodar e lidar com a intermitência e variabilidade dos recursos renováveis. Além disso, a variedade de tecnologias disponíveis e combinações possíveis aumenta a complexidade na hora de sua instalação. As características de algumas fontes de energias renováveis, tais como a solar e eólica, dificultam sua compatibilização com as demandas dos sistemas de distribuição, já que nem sempre o pico de geração de energia solar fotovoltaica coincide com as horas ponta de utilização. Sistemas de armazenamento de energia podem ser incorporados a sistemas energéticos renováveis (ou instalados em redes de distribuição próximas) para regularizar seu fluxo e proporcionar confiabilidade (BARRETO; LEITE; GRIMONI, 2017).

O armazenamento de energia não é útil somente quando energia renovável é introduzida no sistema de energia. O armazenamento de energia também é interessante para melhorar a estabilidade e a qualidade da eletricidade, bem como suavizar e regular mudanças repentinas de carga. Porém o foco deste artigo é o armazenamento de energia (térmica ou elétrica) como apoio à incorporação de energias renováveis em regiões semiáridas.

As regiões semiáridas são regiões nas quais a agricultura é um desafio e, portanto, o investimento em energias renováveis, como solar e eólica, pode contribuir na geração de emprego e renda no semiárido, por meio da instalação e manutenção das unidades produtivas e complexos geradores.

Já existem tecnologias comercialmente disponíveis (TESLA, 2018) para armazenamento elétrico e então é possível aproveitar completamente a produção de energia renovável (solar ou eólica, por exemplo). Ainda que a matriz energética do Brasil seja majoritariamente renovável, as termoelétricas ainda servem para atender às demandas-base de energia. A utilização de armazenamento de energia é uma saída importante para massificação

da eletricidade renovável, podendo minimizar o acionamento das termoelétricas em momentos de necessidade e tornar nossa matriz elétrica ainda mais renovável.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão sistemática de literatura, identificando estratégias para inserção de armazenamento energético em regiões semiáridas. A revisão foi realizada com base em artigos publicados em periódicos científicos e publicações em anais de eventos, na base de dados Periódicos CAPES.

3 METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão sistemática de literatura com o interesse de identificar estratégias para inserção de armazenamento energético em regiões semiáridas.

Uma busca sistemática de artigos científicos publicados foi executada na base de dados Periódicos CAPES, por meio dos descritores: *energy storage semiarid*, *energy store semiarid*, *electricity storage semiarid*, *electricity store semiarid*, *thermal storage semiarid*, *thermal store semiarid*, assim como seus sinônimos e correspondentes na língua portuguesa e espanhola, em combinações variadas, levando em consideração a importância de encontrar todos os estudos relacionados com o assunto disponível na literatura e que, além de obedecerem aos critérios adotados, apresentassem elevada qualidade metodológica. Foram incluídos registros publicados até 28 de setembro de 2018.

3.1 Critérios de Inclusão

Incluíram-se estudos que tiveram como objetivos avaliar o desempenho de armazenamento energético em sistemas de fornecimento de energia em regiões semiáridas, apresentar propostas de inclusão de tais sistemas em regiões semiáridas, e apresentar revisões sistemáticas sobre o tema. Foram selecionados estudos publicados em língua inglesa, portuguesa e espanhola. Não houve restrição quanto ao ano de publicação a fim de maximizar a identificação de literatura relevante.

3.2 Critérios de Exclusão

Foram excluídos da revisão artigos que avaliaram sistemas de conversão e fornecimento de energia para regiões distintas da semiárida, ou que não incluíssem armazenamento.

3.3 Análise

Inicialmente, foi realizada uma triagem a partir da análise dos títulos e resumos localizados na busca. Posteriormente, todos os estudos que se apresentaram pertinentes ao tema foram obtidos na íntegra e analisados separadamente. Por fim, os artigos analisados e selecionados pelos avaliadores, seguindo os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos, foram incluídos na sistematização dos dados após reunião de consenso. As listas de referências de todos os artigos elegíveis foram consultadas, na tentativa de encontrar novos estudos para esta revisão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estratégia de busca elaborada forneceu um total de 119 estudos. Após a triagem pela leitura dos títulos e resumos, 18 estudos foram considerados potencialmente elegíveis e lidos na íntegra pelos avaliadores. Ao término das análises, 10 artigos preencheram todos os critérios de inclusão para o estudo: Schwarzer e Silva (2003); Hepbasli e Alsuhaibani (2011); Rahman e Abdul-Majeed (2012); Ruddell, Salamanca e Mahalov (2014); Swarna et al (2014); Rahman, Boukelia *et al.* (2015); Araújo e Tapia (2016); Trannin (2016); Albiero *et al.* (2017); Gruber e Dalheimer (2018).

Os estudos selecionados foram publicados entre os anos de 2003 e 2018.

Dentre os estudos selecionados, cinco foram realizados em países desenvolvidos (Alemanha, Arábia Saudita, Austrália, Estados Unidos), cinco em países em desenvolvimento (Argélia e Brasil) e um em escala global. Na continuação, serão apresentados brevemente cada estudo, juntamente com as particularidades de cada estrutura, e os parâmetros de desempenho, em ordem cronológica.

O trabalho de Schwarzer e Silva (2003) estudou sistemas solares para cozimento com e sem apoio de armazenamento térmico, para famílias e instituições no semiárido. Ao final, 250 unidades foram colocadas em testes, com coletores solares de placas planas e armazenamento térmico baseado em tanques com pedras que satisfizeram as necessidades energéticas adequadamente.

Hepbasli e Alsuhaibani (2012) apresentam o status atual e as expectativas de futuro da utilização da energia solar na Arábia Saudita. Contataram que apesar de estar localizada numa região desértica com radiação solar média de 2200 kWh/m², ou seja, com grande potencial de aproveitamento em sistemas com intuito de minimizar os impactos ambientais substituindo a dependência do suprimento finito de combustíveis fósseis, há uma percepção predominante de que a energia renovável é largamente irrelevante nos horizontes de planejamento de médio e longo prazo do investimento industrial e de energia. Afirmam também que o uso do armazenamento de energia se torna fundamental em projetos de dessalinização (necessários em regiões semiáridas) baseados em processos térmicos como os que envolvem energia solar térmica, fotovoltaica, eólica e híbrida, a fim de proporcionar uma operação contínua ou semi-contínua independente das condições climáticas.

Rahman *et al.* (2012) apresentaram uma visão geral dos sistemas avançados de armazenamento de energia elétrica gerada por fontes de energia renováveis de acordo com as condições climáticas e a situação de demanda de fornecimento de energia na Arábia Saudita. Entre todos os parâmetros meteorológicos, a temperatura e a umidade relativa foram considerados os mais importantes para a eficiência e a vida útil da bateria e, portanto, devem ser consideradas ao selecionar uma bateria para fins de armazenamento de energia em regiões semiáridas. Com base em avaliações abrangentes de tecnologia, avaliação econômica e condições da Arábia Saudita, recomendou-se iniciar o trabalho de P&D para melhorar ainda mais a tecnologia, bem como a economia local, visto que o armazenamento é o elo mais fraco do domínio da energia, mas é um elemento-chave para o crescimento das energias renováveis, além do quê, há uma quase total ausência de consciência pública da necessidade de sistemas de armazenamento de energia.

Ruddell, Salamanca e Mahalov (2014) analisaram as tecnologias a serem usadas para gerenciar a demanda elétrica em uma cidade quente e semiárida, a área metropolitana de Phoenix (E.U.A.). A simulação considerou a porção de ar condicionado da demanda elétrica durante uma onda de calor de verão, que seria transferida para horários fora do horário de pico usando a tecnologia de armazenamento térmico distribuído. Com as atuais taxas de renovação de novas construções, se todos os prédios novos ou reformados fossem equipados com sistemas de armazenamento de energia térmica frio, provavelmente levaria de 10 a 20 anos para atingir esse nível de penetração no mercado (sendo considerado um excelente potencial para de redução de demanda elétrica), onde o custo de capital da implementação precisaria ser compartilhado por concessionárias e clientes por meio de uma combinação de preços e descontos de eletricidade por tempo de uso.

Swarna et al. (2014) apresentam a análise de viabilidade para o clima semiárido e encontra os locais mais adequados na região semiárida, em particular a região Nordeste de Victoria (Austrália), para geração de energia renovável. Na análise econômica e ambiental, um modelo de hibridização foi considerado para investigarem as perspectivas de energia eólica e solar considerando o valor presente líquido (VPL), o custo de energia, além de considerar métricas de desempenho ambientais e emissão de gases do efeito estufa. Neste estudo os autores simplificaram as operações e não levaram em conta o armazenamento por meio de baterias, e sim, apenas o sistema de armazenamento indireto. Este sistema utiliza a própria rede da concessionária para receber a energia excedente da geração limpa e a converte em créditos ao cliente. Assim, concluiu-se que, este estudo pode ser usado pelas concessionárias para facilitar a integração de energia renovável em larga escala na rede, e a partir dos resultados de otimização e sensibilidade, fica evidente que a integração de energia renovável na rede, não apenas reduz a crise energética mundial, mas também reduz os custos de energia e as emissões de GEE, desempenhando um papel significativo no desenvolvimento de uma sociedade sustentável.

Boukelia et al. (2015) realizaram estudo que abordou a otimização de duas usinas de energia solar térmica parabólica na Argélia (maior país africano e localizado em área de extrema radiação solar), integrada com armazenamento térmico de energia e sistema de reserva de combustível. A primeira planta usa o Therminol VP-1 como fluido de transferência de calor no campo solar e a segunda planta usa sal fundido. A otimização foi realizada com o objetivo de minimizar o custo da eletricidade e maximizar o rendimento energético anual. O estudo de viabilidade propôs Tamanrasset como a melhor localização para a construção de uma central térmica solar parabólica com um baixo custo relativo e uma alta geração de energia anual (266GWh), ratificando que os sítios argelinos semiáridos e áridos são adequados para a realização de plantas de geração de potência a partir da energia solar térmica concentrada com armazenamento de energia térmica e reserva de combustível integrados, devido principalmente às condições climáticas como baixa precipitação, abundância de terras planas não utilizadas próximas a redes de transmissão, redes rodoviárias e a abundância de sol.

Segundo Araújo e Tapia (2016), os sistemas de armazenamento de energia térmica aumentam o fator de capacidade das usinas de energia solar térmica, aumentando assim a confiabilidade desse aporte de fonte renovável. Desta forma, aplicaram o método de volume finito para modelar e simular um tanque de armazenamento de energia térmica para plantas de

energia solar concentrada (ESC), que atingem temperaturas em torno de 600°C, onde as análises foram realizadas com as condições ambientais do semiárido brasileiro (Petrolina - PE). De acordo com os autores, entre as energias renováveis, a energia solar térmica, tem grande potencial para o desenvolvimento de sistemas de armazenamento de energia térmica. Assim, pode gerar eletricidade durante períodos de nebulosidade e após o pôr do sol, uma alternativa que não está presente em parques eólicos (com a falta de vento) e painéis fotovoltaicos (na ausência de luz solar). O sistema proposto no estudo consiste no tipo calor sensível direto com dois tanques (mais comercialmente utilizado), utilizando o sal de nitrato de ópio (60% NaNO_3 40% KNO_3) como material de armazenamento. Tal sistema apresentou eficiência de 96%, sendo considerado satisfatório, se mostrando uma alternativa viável para aumentar o fator de capacidade de usinas solares. Assim, os autores afirmam que o armazenamento térmico é um dos pontos fortes da energia solar térmica e a compreensão dos mecanismos de transferência de calor é primordial para o desenvolvimento de novas tecnologias de armazenamento térmico. Com isso, a região nordeste do Brasil aparece com grande potencial de geração de energia através do uso de usinas de energia solar, bem como a aplicação de um sistema de armazenamento térmico na região mostrou-se termicamente viável devido a sua alta eficiência, sendo necessário ainda, realização de pesquisa econômica para a plena análise da viabilidade do sistema.

Trannin (2016) apresenta o caso da usina híbrida de Tacaratu – PE (maior complexo solar em operação no Brasil está localizado no semiárido pernambucano, operando integrado com geração eólica, gerando atualmente 340 GWh por ano). O autor também discutiu as dificuldades, benefícios e perspectivas de projetos como este no futuro do semiárido brasileiro. Para acompanhar o expressivo aumento na demanda energética, se faz necessário ampliar a capacidade instalada do país, diversificando ainda mais a matriz energética brasileira. A integração de energia solar e eólica traz inúmeros benefícios como por exemplo, a maior estabilidade de produção, redução dos efeitos da variação climática, complementariedade (já que a maior produção solar é durante o dia e a maior produção eólica é à noite), utilização da mesma subestação e linha de transmissão, menor impacto ambiental, além do aumento da geração de empregos, principalmente no momento da construção da usina, em regiões de baixa empregabilidade. Além disso, a publicação mostra que os avanços nas tecnologias de armazenamento e o aumento da inteligência dos sistemas elétricos no mundo permitem que uma maior penetração de fontes renováveis seja feita sem prejudicar a segurança energética do país.

Albiero *et al.* (2017) propuseram uma usina híbrida constituída por um sistema de geração de potência eólica, um sistema de geração de potência solar e um sistema de geração de potência química por meio de biogás. O projeto considerou as condições climáticas e sociais de oito cidades localizadas nas oito macrorregiões do estado de Ceará, no semiárido brasileiro, sendo apresentados os cálculos de geração de energia e de custo de investimento no projeto. A usina projetada atendeu às demandas de energia de propriedades de 20 hectares e gerou uma energia excedente representativa em quatro dos oito municípios estudados. Neste caso, a forma de armazenamento da energia excedente que foi o armazenamento indireto (através do uso da própria rede elétrica da concessionária, utilizando o formato de crédito na tarifa de energia

elétrica) ao invés de utilizar armazenamento pelo uso de baterias chumbo-ácido que, segundo os autores, é onerosa e prejudicial ao meio ambiente

Para Gruber e Dalheimer (2018), dos conceitos de fornecimento de energia renovável, um grande desafio é o armazenamento de energia para mobilidade e tecnologia de balanceamento da rede para controle de frequência e tensão. Os autores analisaram o potencial do óleo vegetal puro de *Jatropha* (planta tropical nativa das Américas, e não comestível) cultivada de forma sustentável em terras semiáridas como contribuintes para um *mix* de energia renovável, principalmente para os países em desenvolvimento e mercados emergentes da África, Ásia e América Latina. Segundo os autores, a semente analisada parece apresentar as melhores condições para servir como uma estratégia mundial para produzir biocombustíveis sustentáveis para mobilidade e eletricidade, enquanto combate à desertificação, mudanças climáticas, pobreza e migração, principalmente em regiões semiáridas.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma revisão sistemática de literatura com o interesse de identificar estratégias para inserção de armazenamento energético em regiões semiáridas, demonstrando a viabilidade e aplicabilidade destas tecnologias no suporte à redução dos efeitos da intermitência e variabilidade sazonal das energias renováveis (sobretudo a solar e a eólica) nos mais diversos setores da região do semiárido nacional.

A difícil situação das populações que vivem em regiões semiáridas pode ser atenuada pelos resultados de pesquisas científicas e tecnológicas que mostram a viabilidade de projetos de geração de energia térmica, geração de energia elétrica a partir de sistemas híbridos, e dessalinização de água. Experiências de sucesso em outras regiões semiáridas do mundo podem ser estendidas e adaptadas para o Nordeste Brasileiro, evidenciando que é possível melhorar as condições de vida em situações climáticas adversas.

A estratégia de incorporar centrais produtoras de energia solar e eólica no semiárido está direcionada a tentar garantir um futuro sustentável, que pode culminar no aumento da renda na região, com a promoção de uma economia socialmente justa e menos vulnerável aos efeitos das secas associada à variabilidade natural do clima e de suas alterações.

Os resultados obtidos neste trabalho evidenciam que assim como ocorreu em outros países, a instalação de sistemas de armazenamento de energia associados a utilização de fontes alternativas renováveis, favorece a que estas fontes se tornem mais estáveis e assim, mais competitivas em relação a energias fósseis e hidrelétricas. Concluiu-se que a difícil situação das populações que vivem em regiões semiáridas pode ser atenuada pelos resultados de pesquisas científicas e tecnológicas.

Atingir o desenvolvimento sustentável é uma meta que hoje é amplamente vista como importante para a opinião pública mundial. Neste contexto, a utilização de recursos energéticos renováveis, como a energia solar, geotérmica e eólica, parece ser uma das formas mais eficientes e eficazes de atingir esta meta, mas em combinação com armazenamento energético.

6. FOMENTO

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Bolsa de Produtividade em Pesquisa, nº 303199/2015-6) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa de doutorado.

7. REFERÊNCIAS

- ALBIERO, D.; PRACIANO, A. C.; VOGT, H. H.; MONTEIRO, L. A.; FEITOSA, E. O. Sistema híbrido renovável de geração de energia elétrica para o semiárido. **Conexões Ciências e Tecnologias**, Fortaleza, v. 11, n. 1, p. 43-48, 2017.
- ARAÚJO, A. K. A.; TAPIA, G. I. M. **Modeling and simulation of a two tanks sensible heat storage system in the brazilian semiarid region**. In: Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, 16, Vitória. 2016.
- BARRETO, G. A.; LEITE, B. M.; GRIMONI, J. A. B. Armazenamento de Energia. In: MOREIRA, J. R. S. (Org.). **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Grupo GEN - LTC, 2017.
- BOUKELIA, T. E. *et al.* Optimization, selection and feasibility study of solar parabolic trough power plants for Algerian conditions. **Energy Conversion and Management**, v. 101, n. 1, p. 450-459, 2015.
- CARVALHO, M.; MILLAR, D. L. Concept development of optimal mine site energy supply. **Energies**, v. 5, n. 11, p. 4726-4745, 2012.
- GRUBER, G. DALHEIMER, B. Energy storage and balancing power for 100% renewable energy hybrid systems: the potential of jatropha for rural electrification in hot semi-arid areas. In: European Biomass Conference and Exhibition, 26, 2018, Copenhagen. 2018.
- HEPBASLI, A.; ALSUHAIBANI, A. A key review on present status and future directions of solar energy studies and applications in Saudi Arabia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 9, p. 5021-5050, 2011.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. Oficina de textos, 2017.
- NAÇÕES UNIDAS. 2018. United Nations Decade for Deserts and the Fight Against Desertification. **Why Now?** Disponível em: www.un.org/en/events/desertification_decade/whynow.shtml. Acesso em 28 set 2018.
- RAHMAN, F.; REHMAN, S.; ABDUL-MAJEED, M. A. Overview of energy storage systems for storing electricity from renewable energy sources in Saudi Arabia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 6, n. 1, p. 274-283, 2012.
- RUDELLE, B. L.; SALAMANCA, F.; MAHALOV, A. Reducing a semiarid city's peak electrical demand using distributed cold thermal energy storage. **Applied Energy**, v. 134, n. 1, p. 35-44, 2014.
- SCHWARZER, K.; SILVA, M. E. V. Solar cooking system with or without heat storage for families and institutions. **Solar Energy**, v. 75, n. 1, p. 35-41, 2003.
- SWARNA, K. S. V.; SHAFIULLAH, G. M.; OO, A. M. T.; STOJCEVSKI, A. Prospects of Renewable Energy in Semi-Arid Region. *Journal of Power and Energy Engineering*, v. 2, p. 26-35, 2014.

TESLA. Powerwall. 2018. Disponível em: <<https://www.tesla.com/powerwall>> Acesso em 02 out 2018.

TRANNIN, M. Desafios e oportunidades para a geração de energia elétrica por fontes renováveis no Brasil: estudo de caso sobre a usina híbrida de Tacaratu (PE). **Boletim Energético - FGV**, abril, 2016. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/bc/article/view/62486>. Acesso em: 02 out. 2018.