

PERSPECTIVAS DA GESTÃO HÍDRICA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO PARA A IRRIGAÇÃO¹

PERSPECTIVES OF WATER MANAGEMENT IN BRAZILIAN SEMIARID FOR IRRIGATION

Alana Hellen Batista de Almeida², Heithor Syro Anacleto de Almeida³ e Mychelle Karla Teixeira de Oliveira⁴

RESUMO

As mudanças climáticas afetam a concentração de água, portanto, pesquisadores de todo o mundo tem aplicado métodos capazes de prever o que estas alterações causaram aos recursos hídricos. A produção de alimentos no território brasileiro provém majoritariamente da agricultura irrigada, necessitando por tanto, de uma boa gestão hídrica. A região semiárida do país já sofre com crises hídricas, devido, questões ambientais, como clima desfavorável. Havendo assim, necessidade de encontrar soluções rápidas e imediatas capazes de otimizar o uso da água, contribuindo para a sustentabilidade e qualidade de vida da população desta região. O objetivo deste trabalho é, a partir de uma revisão bibliográfica, apresentar as principais técnicas, como os bioindicadores e sensoriamento remoto, irrigação por condensação, os tanques de pedra e reuso de água, que podem ser aplicadas no semiárido brasileiro como subsídios à gestão dos recursos hídricos. Os resultados destas pesquisas apontam, que apesar das mudanças climáticas e aridez nessas regiões, é possível, com a utilização de novas tecnologias, gerir os recursos hídricos, minimizando a perda de água na irrigação.

Palavras-chave: Tecnologias, Mudanças climáticas, Desafios hídricos.

ABSTRACT

As the changes affect the water concentration, therefore, the type of choice in the world has qualified methods of predicting what these changes have caused to water resources. The production of food in the Brazilian territory comes mainly from irrigated agriculture, therefore needing a good water management. The semi-arid region of the country already suffers from water crises, due to environmental issues, such as an unfavorable climate. Thus, there is a need to find quick and immediate solutions capable of optimizing the use of water, contributing to the quality and quality of life of the population of this region. The objective of this work is, from a bibliographic review, to present the main techniques, such as bioindicators and remote sensing, condensation irrigation, stone tanks and water reuse, which can be applied in the Brazilian semiarid as subsidies to the management of water resources. The research results show that, despite climate changes and aridity in these regions, it is possible, with the use of new technologies, to manage water resources, minimizing the loss of water in irrigation.

Keywords: *Technologies, Climate changes, Water challenges.*

1 Pesquisa desenvolvida na disciplina de Gestão de recursos hídricos do semiárido na Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA

2 Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ambiente Tecnologia e Sociedade - Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA. E-mail: alanahellen8@gmail.com

3 Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Ambiente Tecnologia e Sociedade - Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA. E-mail: heithorsyroaa@gmail.com

4 Dra. em Fitotecnia. Sociedade - Professora Visitante - Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA. E-mail: mychelle.oliveira@ufersa.edu.br

INTRODUÇÃO

Desde a pré-história que os seres humanos utilizam a água em quantidade e condições favoráveis ao consumo. Atualmente, o grande aumento populacional, intensificou a necessidade de utilização da água para a produção de alimentos utilizando, portanto, excessivamente os recursos hídricos, principalmente para a irrigação, que associado a ações antrópicas e mudanças climáticas tem levado a seca até mesmo em locais que antes havia abundância (RIBEIRO *et al.* 2010).

As atividades antrópicas sobre os ecossistemas têm causado grandes impactos ambientais, principalmente no clima, gerando muitas preocupações quanto à quantidade e qualidade dos recursos hídricos, que podem comprometer o desempenho dos sistemas de irrigação. A exploração de alternativas de adaptação e projeção futura, a partir de métodos numéricos podem ser responsáveis pelas tomadas de decisões capazes de alcançar o gerenciamento sustentável da água.

Segundo Barros (2019), a caatinga é a região semiárida mais povoada no mundo, com cerca de 27 milhões de pessoas vivendo neste bioma, situado próximo ao Oceano Atlântico, tem como principal característica o seu clima semiárido com baixos índices pluviométricos, as mudanças climáticas têm efeitos negativos nesse território, aumentando a temperatura média e diminuindo a frequência das chuvas.

A discussão entorno de uma gestão hídrica eficiente é fundamental para que se desenvolva um empreendimento sustentável no semiárido brasileiro. Devido a condições de clima, solo e exploração irregular de seus recursos naturais, a Caatinga é compreendida como ecossistema frágil, sujeito a desertificação (ARAÚJO; SOUSA, 2011). A preocupação com processos de desertificação é abordada pela Agenda 21 como um dos problemas a ser enfrentado para atingir o desenvolvimento sustentável. Deve-se então efetuar uma adequada gestão de recursos hídricos no que concerne à agricultura irrigada no semiárido, uma vez que a falta de planejamento nos processos de irrigação pode levar a problemas de perda de terra, como também o uso em excesso levar a escassez hídrica (ERTHAL; BERTICILLI, 2018).

A falta de água decorrente da crise hídrica, tem diversos efeitos colaterais na produção agrícola, pois, afeta diretamente a irrigação, acarretando redução das safras e das qualidades dos produtos, há impacto também na higienização e conservação das colheitas. A medida para evitar estas consequências, é o planejamento e gerenciamento da água, bem como o uso de técnicas de irrigação, com o escopo de economizar água nas plantações (MACEDO, 2015).

Portanto, o semiárido brasileiro por ser uma região predominada pela seca, já precisa superar a restrição hídrica, processo que pode ser complexo e caro, colocando como principal desafio a procura por uma tecnologia sustentável nos âmbitos financeiros e ambientais, além de eficiente para a produção agrícola. Essa revisão bibliográfica vai proporcionar uma visão das novas tecnologias que têm sido implantadas e testadas na região Nordeste, como a utilização de água de reuso, fontes de

recurso natural, tanques de pedras, entre outros, além de mostrar se são eficazes para a gestão hídrica e conseqüentemente o máximo aproveitamento da água.

METODOLOGIA

Este estudo trata-se de uma pesquisa descritiva bibliográfica, ou seja, uma revisão de literatura elaborada através de artigos científicos e livros, publicados entre os anos de 2010 a 2020. Como critério de seleção foram incluídos artigos originais publicados nos idiomas inglês e português, extraídos do portal de periódicos CAPES e do Google acadêmico. Em relação à finalidade desta pesquisa, trata-se de uma pesquisa aplicada, na qual contribuirá para a ampliação do conhecimento científico sobre o problema proposto.

DESENVOLVIMENTO

RELAÇÃO ENTRE AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A IRRIGAÇÃO

As mudanças climáticas podem alterar o ciclo da água, e conseqüentemente causar impactos na irrigação. Diante disto, é preocupação mundial a forma como essas mudanças podem afetar a agricultura e a irrigação, portanto, estão sendo realizadas várias simulações e projeções de como essas alterações influenciarão no cultivo ao redor do mundo.

A China teve uma vasta expansão da agricultura irrigada, e um conjunto de simulações de modelos climáticos regionais de alta resolução mostraram que as mudanças climáticas adicionadas aos efeitos antropogênicos da irrigação, aumenta o risco de ondas de calor nessa região, a planície do norte da China provavelmente experimentará ondas de calor mortais com temperatura de bulbo úmido que excede o limite ao qual os agricultores chineses podem tolerar enquanto trabalham ao ar livre (KANG; ELTAHIR, 2018).

Projeções de mudanças climáticas para a Suíça com base em uma abordagem multimodelo bayesiana, mostrou que no decorrer do século XXI, a Suíça experimentará mudanças significativas nas condições climáticas de temperatura e precipitação, comparado com atualmente. A magnitude das mudanças climáticas na Suíça depende da região e da estação, e particularmente do caminho das futuras emissões de gases de efeito estufa (FISCHER *et al.*, 2011).

As principais conclusões relativas às mudanças projetadas para ocorrer na Itália nos períodos 2021-2050 foram aumentos significativos na temperatura mínima e máxima sobre o norte da Itália em todas as estações. Essa mudança é mais pronunciada na parte superior do país e foram encontradas maiores magnitudes durante o verão, outono e primavera de até 3 ° C em relação ao clima atual. Para o período 2070 - 2099, apresentou um aumento em torno de 2,5 ° C durante o inverno, primavera e outono (TOMOZEIU *et al.*, 2013).

No Brasil, as projeções regionais de mudanças climáticas para a última metade do século XXI indicam que regiões como o nordeste, centro-leste e o sul da Amazônia podem sofrer deficiência de chuva no futuro, e essas mudanças podem variar com as estações do ano. O conhecimento de mudanças nos campos meteorológicos como circulação, temperatura e precipitação em cenários climáticos futuros depende do uso de modelos numéricos, mas é de grande importância para a discussão de estratégias que possam ser desenvolvidas e implementadas para a adaptação regional (MARENGO *et al.*, 2010), pois, essas mudanças interferem no ciclo hidrológico provocando escassez de recursos hídricos.

Apesar da grande preocupação com as mudanças climáticas que ocorrerão no futuro, a região semiárida brasileira, devido sua variabilidade climática atual, já demanda preocupação e esforços para adaptações, visto que, historicamente esta região sofre com várias perdas econômicas e sociais causados por períodos de secas severas. Vários fenômenos estão correlacionados com essas secas, como a precipitação reduzida, aumento da evaporação, abaixamento dos lençóis freáticos ou mudanças na cobertura do solo. Seus principais resultados incluem produção agrícola reduzida, degradação do solo, mudanças no ecossistema e diminuição do escoamento da captação de água (MARENGO; BERNASCONI, 2015). Diante deste problema, o governo brasileiro, em 2010, promulgou a Política Nacional de Mudanças Climáticas, estabelecendo, entre outros, a identificação de vulnerabilidades e a adoção de medidas adequadas de adaptação às transições climáticas (LINDOSO *et al.* 2014).

Assim, é necessário analisar os cenários climáticos, e conhecer a demanda hídrica que a agricultura e o agronegócio nordestino necessitam para pesquisar e aplicar tecnologias que ajudem a administrar o uso da água de forma eficaz nas lavouras do semiárido.

DEMANDA HÍDRICA NO NORDESTE PARA IRRIGAÇÃO

A lei 12.787 de 2013 estabelece a Política Nacional de Irrigação (BRASIL, 2013) em todo o território nacional, na qual, tem como princípios que os recursos hídricos devem ser usados e manejados de forma sustentável, priorizando os projetos que possibilitem o uso múltiplo das reservas de água, precisa haver articulações, entre as ações de irrigação, nas diferentes esferas do governo e do setor privado, a partir de mecanismos ocorra uma gestão democrática e participativa, com infraestrutura de irrigação de uso comum, dos Projetos Públicos de Irrigação (PPIs), além de prevenir que esses recursos hídricos não sejam um meio de propagação para endemias rurais.

Os Projetos Públicos de Irrigação (PPIs), implantados na década de 60, foram idealizados como um instrumento para o desenvolvimento de algumas regiões como o semiárido brasileiro, na qual é ofertado infraestrutura de irrigação e serviços sociais (saneamento, educação, saúde, segurança e transporte), alguns desses projetos têm caráter social compensatórios (BRASIL, 2020).

A utilização da irrigação na agricultura tem como finalidade fornecer água em quantidade adequada para o plantio e a colheita dos produtos cultivados. Estes produtos são utilizados para

diversas finalidades como para alimentação de pessoas e animais, as bases para a produção de medicamentos, produtos químicos, combustíveis, fibras, bem como o comércio internacional. Uma crise na gestão hídrica afeta diretamente este setor produtivo, trazendo consequências quanto a diminuição da produção agrícola, desabastecimento de hortaliças, falta de leguminosas e demissão de funcionários (MACEDO, 2015).

As avaliações de desempenho da irrigação são ferramentas importantes, em vários níveis da hierarquia, para o gerenciamento, monitoramento e aperfeiçoamento do consumo de água. Segundo a Agência Nacional de Água (ANA) em 2015, o Brasil está entre os países com maior área irrigada do planeta, embora ainda utilize apenas uma pequena parte do seu potencial para a atividade. Em regiões como o semiárido brasileiro, na qual a escassez de água é contínua, a irrigação é fundamental para a viabilidade de grande parte das culturas. A agricultura irrigada necessita de água em quantidade e de boa qualidade. Entre 1960 e 2015 a área irrigada no Brasil aumentou expressivamente, passando de 462 mil hectares para 6,95 milhões de hectares, e pode expandir mais 45% até 2030, atingindo 10 milhões de hectares, na qual, conseqüentemente aumentará a necessidade da utilização e gestão dos recursos hídricos. A irrigação é responsável por 46% das retiradas nos corpos hídricos e por 67% do consumo. Porém, aproximadamente 97% da área irrigada do país é irrigação privada (BRASIL, 2020).

Como destaque no primeiro plano diretor do Nordeste, o planejamento de desenvolvimento da região semiárida, a partir da adoção de uma política de aproveitamento dos recursos hídricos visava a implementação de um método, para que fosse possível usufruir dos recursos naturais deste território. Segundo Pontes e Machado (2012), aproximadamente 5,34 milhões de pessoas que vivem na área rural do semiárido brasileiro e depende da agricultura ou pecuária para sobreviver, moram a pelo menos uma hora de distância de qualquer fonte de água. Neste contexto, a construção dos reservatórios hídricos no semiárido brasileiro surge como sendo uma das primeiras alternativas políticas. Sendo, portanto, um dos sistemas de engenharia mais antigos implantados no semiárido (PEREIRA NETO, 2017).

Como uma solução para a restrição hídrica o Estado Brasileiro, há décadas, investe na instalação de polos de produção agropecuária, baseados em sistemas complexos e de altos custos, de irrigação na região do Semiárido nordestino. Os Polos de irrigação estão distribuídos em todos os estados nordestinos com exceção ao maranhão. Dados do Censo Agropecuário 2006, mostra que, em torno de 140,9 mil estabelecimentos agropecuários do Nordeste usam sistemas de irrigação na produção, alcançando 1 milhão de hectares, equivalente a 0,65% da área do Nordeste (BUAINAIN; GARCIA, 2013).

Porém, estes polos não são capazes de suprir a demanda de recursos hídricos para a agricultura irrigada, devido ao planejamento inadequado e a negligência com o desenvolvimento socioeconômico da região após a implementação dos projetos resultam em polos praticamente inoperantes com operações ineficientes (DE CASTRO, 2018). Portanto, só gera mais desafios para gerir e utilizar a água disponibilizada nos polos localizados na região do semiárido do país.

DESAFIOS DA GESTÃO HÍDRICA NO SEMIÁRIDO

O Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada, estudo da Agência Nacional de Águas (ANA) mostra que a agricultura irrigada é responsável pela retirada de 969 mil litros de água por segundo ($969 \text{ m}^3/\text{s}$) e pelo consumo de 745 mil litros por segundo ($745 \text{ m}^3/\text{s}$), correspondendo a 46% da vazão total retirada ($2.105 \text{ m}^3/\text{s}$) e a 67% da vazão de consumo ($1.110 \text{ m}^3/\text{s}$), considerando os demais usos. O setor de irrigação é o maior e mais dinâmico uso consuntivo de água dos mananciais no Brasil, na qual, a maior parte da água é evapotranspirada pelas plantas e solos e não retorna diretamente aos corpos hídricos em um curto espaço de tempo. Para o semiárido brasileiro, região que enfrenta crises hídricas constantemente, se torna um desafio gerir a quantidade e qualidade da água necessária para os cultivos da região.

Uma limitação na gestão hídrica do semiárido está ligado aos irrigantes, utilizados nos projetos públicos, que não são eficientes com relação ao consumo de água como por exemplo métodos de aspersão ou por sulcos se comparados com outras alternativas existente no mercado como o gotejamento (DE CASTRO, 2018). Sendo uma região na qual, a restrição de água é obstáculo é preciso pensar em todos os aspectos da implementação de alguma tecnologia que minimize o uso desse recurso.

O uso do balanço hídrico é de extrema importância para a gestão e o planejamento hidro agrícola, pois, esta ferramenta traz dados como caracterização climática, delimitador de zonas agroecológicas, e controle dos recursos hídricos em microbacias, levando em conta as necessidades hídricas, bem como suas demandas e ofertas no espaço e no tempo (SILVA *et al.*, 2015).

O maior desafio na agricultura irrigada, no semiárido brasileiro, consiste em garantir outorgas de água compatíveis com as demandas de solos potencialmente aptos à irrigação de forma a compatibilizar a segurança de oferta hídrica à produção de alimentos reduzindo as perdas de água nos sistemas de irrigação, seja na sua condução e distribuição hídrica ou na aplicação da água nos cultivos (SILVA *et al.*, 2015).

No semiárido brasileiro, os reservatórios artificiais apresentam importância tanto de ordem social como econômica, entretanto, o processo de degradação tem comprometido seus múltiplos usos, tornando-se um entrave no âmbito da gestão ambiental (LIMA *et al.* 2017). Os reservatórios artificiais, ao longo dos anos, têm sofrido grandes interferências antrópicas causando problemas ambientais e influenciando nas condições da água.

A tecnologia aplicada para a irrigação no semiárido ainda é escassa se comparada a outras regiões do país, por ser uma região marcada por fatores climáticos como precipitação, evapotranspiração e períodos de seca, é necessário pensar em tecnologias que otimizem os recursos hídricos, além de uma reeducação acerca dos recursos hídricos. Existem inúmeras medidas que são de extrema importância para uma boa gestão dos recursos hídricos como a regularização de vazões, segurança de barragens, capacitação de recursos humanos, participação da comunidade e operações integradas (SILVA, 2018).

O nosso país tem enfrentado atualmente algumas crises hídricas, o que faz necessário à procura de soluções imediatas que envolvam um melhor planejamento do uso da água e gestão dos recursos hídricos disponíveis, compatibilizando as mais diversas utilizações sem que, afete a distribuição da água para setores estratégicos, como a produção de alimentos através da irrigação, o conhecimento e aplicação de tecnologias sustentáveis capazes de garantir uma maior gestão do uso da água será bastante benéfica a níveis locais e regionais (SILVA *et al.*, 2015).

TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS PARA A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

O desenvolvimento regional do Semiárido tem que ser baseado em um desenvolvimento sustentável que alinhe os eixos ambiental, social, econômico e político (SILVA *et al.*, 2018). Portanto, é necessário conhecer o território e o seu bioma, preservando e cultivando as plantas nativas adaptadas a caatinga, com a implementação de políticas que agregue valor econômico, na qual, diminuiria o cultivo de plantas não nativas que necessitam de grandes quantidades de recursos hídricos com relação as nativas.

O pensamento difundido atualmente acredita que só é possível expandir a área de irrigação na região semiárida, sem comprometer outras atividades que necessitam dos recursos hídricos, a utilização de políticas que investem em grandes projetos de infraestrutura hídrica como a construção de barragens e grandes açudes, transposição do rio São Francisco (DE CASTRO, 2018). Porém, há como solução para os problemas envolvendo a gestão de recursos hídricos no semiárido brasileiro, a utilização de tecnologias sociais e econômicas para a minimização do desperdício e o reaproveitamento da água.

É admissível usar água de baixa qualidade, proveniente de estações de tratamento de efluentes, reutilizando para a irrigação, porém, depende de suas características intrínsecas, das condições de uso e do método de irrigação para que não haja problemas como toxicidade nas culturas, danos a qualidade do solo, difusão de parasitas entre outros (BORTOLINI; MAAUCIERI; BORIN, 2018).

Um mecanismo de irrigação para ser considerado eficiente e sustentável precisa diminuir a perda de água e aumentar a produtividade da colheita (JAISWAL; BALLAL, 2020). Dantas *et al.* (2011) afirmaram que a utilização de coberturas no solo, na produção agrícola de várias culturas poderia diminuir a quantidade de aplicação da água, aumentando a disponibilidade hídrica.

Sistemas baseados na Agroecologia também constituem ferramentas transformadoras na superação das limitações do semiárido, conforme Ferreira *et al.* (2011) já apontou em seus estudos sobre a sustentabilidade de agrossistemas com barragens subterrâneas na Paraíba. Santiago *et al.* (2018) realizou uma comparação entre a qualidade do solo em cultivos irrigados agroecológicos e convencionais, atestando positivamente os impactos da utilização de práticas da agroecologia em face ao manejo tradicional.

Técnicas como a aplicação de bioindicadores e a utilização de sensoriamento remoto têm oferecido um maior suporte para a gestão dos recursos hídricos, principalmente em áreas que existe es-

casca hídrica como o semiárido. Algumas comunidades aquáticas de macroinvertebrados são usadas como bioindicadores para a avaliação da qualidade da água, servindo como subsídio importante para determinar se esta pode ser utilizada para a irrigação. O sensoriamento remoto é outra ferramenta que ajuda no gerenciamento dos recursos hídricos, principalmente em regiões semiáridas e áridas pois a partir do mapeamento e monitoramento, via sensores, é possível delimitar as regiões susceptíveis aos processos de desertificação.

Lima *et al.* (2017) afirmaram que a utilização de bioindicadores e do sensoriamento remoto como subsídios à gestão dos recursos hídricos no semiárido Brasileiro, através da elaboração de mapas de uso e ocupação do solo e de distribuição espacial das concentrações de nutrientes da água, como metodologias fundamentais no monitoramento em reservatórios, e concluíram que essas ferramentas demonstram potencial para análise da qualidade ambiental e, conseqüentemente, ajudam na gestão hídrica, principalmente em bacias hidrográficas.

Sado *et al.* (2018) recorreram ao sensoriamento remoto para estimar a demanda de água para irrigação na bacia hidrográfica do Alto São Marcos, na qual, a partir da utilização de imagens dos satélites Landsat 7, Landsat 8 e Tropical Rainfall Measuring Mission e apoiando-se no conhecimento da evaporação e do coeficiente de cultura estimaram o volume de água necessários. Os volumes obtidos foram adequados quando comparados com os volumes de retirada da água medidos por hidrômetros, mostrando ser uma alternativa eficiente no processo de fiscalização e gerenciamento do uso da água em áreas irrigadas.

O sensoriamento remoto orbital favorece a geração de várias variáveis espaço-temporais essenciais ao manejo da cultura irrigada, inclusive em locais que os recursos são limitados ou existe pouca informação “in situ” acessível, permitindo a otimização da distribuição de água, avaliação do desempenho da irrigação, avaliando as mudanças ocorridas com a implantação de irrigação em escala de propriedade, bacia ou região (SILVA *et al.* 2019).

Pereira *et al.* (2016) realizaram testes na bacia hidrográfica do rio Paraná, no reservatório de Itaipu, utilizando imagens do satélite Landsat-8, para delimitar e mapear corpos d’água, com o objetivo de propor novos Índices de Água, e comparar com outros já existentes, os autores concluíram que essa técnica é uma ferramenta importante para a gestão, pois permite monitorar os recursos hídricos sob a ótica da dinâmica espacial e temporal de maneira automática.

A irrigação por condensação, utilizando a irrigação subterrânea aliada a dessalinização e a energia solar (ARABNEJAD; MIRZAEI; NOORY, 2020), método que tem o potencial de aumentar a eficiência e produtividade da água, na qual, o vapor é transferido para a zona da raiz e garante o teor de umidade do solo (ARVANDI; SHARIFI; SHAHNAZARI, 2020), produzindo água a partir da condensação de ar úmido, também pode ser uma boa alternativa para o semiárido brasileiro, em que, é possível usar água de baixa qualidade, além da formação desta água seguir a necessidade hídrica da planta (LINDBLUM, 2012). Arabnejad *et al.* (2020) utilizaram essa técnica para analisar a viabi-

lidade do cultivo de manjeriço e obtiveram como resultado a produção de matéria seca de até 286% superior da irrigação convencional, além disso, a temperatura devido a condensação não interferiu no crescimento das plantas.

Leslie *et al.* (2019) usaram a irrigação por membrana subsuperficial, durante o cultivo de *Phaseolus vulgaris* para melhor gestão hídrica, a eficácia foi avaliada a partir da biomassa foliar por unidade de água de irrigação e comparada com as plantas da irrigação convencional (controle), analisaram também o estado fisiológico das plantas. Os resultados indicaram que a produção do feijão foi estatisticamente equivalente em ambos os tratamentos mostrando que esse tipo de irrigação, além de não comprometer a qualidade do produto, pode ser uma alternativa viável na produção do cultivo.

Roy *et al.* (2019) propôs uma otimização de simulação de safra usando irrigação precisa e tecnologia de retenção de água subterrânea. A metodologia proposta se dá a partir da integração de dois processos computacionais: (i) um processo de modelagem de crescimento de uma cultura e (ii) processo de modelagem do transporte de água e nutrientes através do solo até o sistema radicular da planta. Assim, Roy *et al.* (2019) ao integrarem os dois métodos computacionais modelaram e analisaram a capacidade de retenção de água do solo por membranas poliméricas e com a escala de irrigação e crescimento de uma cultura, sob dada localização, tipo de solo e clima. Ao fim do estudo foi observado que a metodologia não apenas diminui o uso de água, mas também maximiza a produção da cultura irrigada analisada, mas que também pode ser facilmente estendida para diferentes tipos solos, culturas e condições climáticas.

Há ferramentas que podem ser implantadas na agricultura familiar capazes de ajudarem a gerenciar os recursos hídricos. Pereira *et al.* (2018), explicou uma modalidade de tecnologia social, o tanque de pedra, para gerir os recursos hídricos através da captação de água proveniente da precipitação da chuva em afloramentos rochosos, a pesquisa ocorreu em um reservatório hídrico no município de Esperança-PB, conhecido por “Tanque do Araçá”, o estudo foi pautado em uma pesquisa qualitativa: in loco (observações participantes) e entrevistas/conversas informais. Esta metodologia se mostrou uma ótima alternativa por ser uma tecnologia simples que possibilita uma boa gestão dos recursos hídricos. Dentre os benefícios advindos deste procedimento verificou-se: aumento da oferta de água para atender as necessidades hídricas das famílias locais e não causou impactos a fauna, flora, ar, etc.

O sistema bioágua familiar apresenta-se como tecnologia social, promissora ao semiárido, para pequenos produtores (SILVA, 2018). Esse sistema consiste na reutilização da água cinza, proveniente da própria residência dos produtores na irrigação do plantio. Para utilização do processo, a água residual passa por etapas de filtração para retenção de matéria inorgânica e orgânica. Apesar do aspecto promissor, essa tecnologia não possui viabilidade para plantio de grandes áreas, tendo em vista que falhas no tratamento da água cinza podem levar a acidificação e salinização do solo (SILVA, 2018).

Silva e Khan, 2018, adotaram a região de Iguatu-Ce para sua pesquisa, utilizando reuso de água, reaproveitamento de água para irrigação (reuso de águas cinzas e cisternas de segunda água),

como alternativa para a crise hídrica. O modelo adotado para aferir os impactos do reaproveitamento da água mostrou que além de ser uma boa alternativa com relação à crise hídrica, também contribuiu significativamente para aumentar a renda da população beneficiada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mudanças climáticas são um dos fenômenos responsáveis pela disponibilidade de recursos hídricos, pois, essas modificações causam problemas nos ciclos hidrológicos, reduzindo a precipitação, aumentando a evaporação, entre outros.

É necessário o aprimoramento de modelos dos cenários climáticos para acelerar a compreensão dos impactos climáticos nos rendimentos das culturas, principalmente nas regiões tropicais. A adaptação eficaz da agricultura a essas mudanças exigirá pelo menos duas informações: os riscos relativos colocados pelas mudanças climáticas em diferentes locais e sistemas de cultivo, para que seja possível priorizar o uso de recursos escassos dedicados à adaptação e os mecanismos prováveis de dano potencial das mudanças climáticas. Nesse contexto, os esforços para mapear a vulnerabilidade da agricultura às mudanças climáticas são de suma importância nos países em desenvolvimento como o Brasil. Além disso, o setor agrícola, depende de condições ambientais como temperatura, disponibilidade de nutrientes e acessibilidade à água, tem alta relevância econômica para os brasileiros. (LOBELL *et al.* 2011).

A agricultura e o agronegócio do semiárido já são extremamente prejudicados pela aridez dessa região. Porém, alguns pesquisadores estão descobrindo soluções eficientes e sustentáveis ecologicamente e economicamente, utilizando modelos que servem também para os pequenos proprietários rurais. Revelando assim, que apesar de o cenário climático ser preocupante no Nordeste brasileiro, promovendo escassez de água, as recorrentes iniciativas de pesquisadores no que refere a ações pautadas na gestão dos recursos hídricos e o conhecimento sobre a melhor forma de gerir estes recursos, tem mostrado que será possível conviver com uma escassez periódica de água.

REFERÊNCIAS

ARABNEJAD, H.; MIRZAEI, F.; NOORY, H. Greenhouse cultivation feasibility using condensation irrigation (studied plant: Basil). **Agricultural Water Management**, v. 245, p. 106526, 2021.

ARAÚJO, C. S. F.; SOUSA, A. N. Estudo do processo de desertificação na caatinga: uma proposta de educação ambiental. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 17, n. 4, p. 975-986, 2011.

ARVANDI, S.; SHARIFI, F.; SHAHNAZARI, A. Improving water efficiency and productivity using a condensation irrigation technique. **International Journal of Energy and Water Resources**, v. 4, p. 151-162, 2020.

BARROS, B. G. **Caatinga: O semiárido brasileiro**. Biologia total. 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3G7uUj8>. Acesso em: 24 ago. 2020

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **O Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada**. 2015. Disponível em: <https://bit.ly/2ZdZ2sF>. Acesso em: 20 mar. 2020

BRASIL. **Ministério do Desenvolvimento Regional Irrigação**. Brasília 2020. Disponível em: <https://www.mdr.gov.br/irrigacao>. Acesso em: 25 ago. 2020

BRASIL. **Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013**. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação; altera o art. 25 da Lei no 10.438, de 26 de abril de 2002; revoga as Leis nos 6.662, de 25 de junho de 1979, 8.657, de 21 de maio de 1993, e os Decretos-Lei nos 2.032, de 9 de junho de 1983, e 2.369, de 11 de novembro de 1987; e dá outras providências. Disponível em: <https://bit.ly/3bdP11b>. Acesso em: 25 ago. 2020.

BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R. Polos de Irrigação no Nordeste do Brasil. desenvolvimento recente e perspectivas. **Confins**, n. 23, 2015.

DANTAS, D. D. C.; MEDEIROS, J. F.; FREIRE, A. G. Produção e qualidade do meloeiro cultivado com filmes plásticos em respostas à lâmina de irrigação. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 652-661, 2011.

DE CASTRO, C. N. Sobre a agricultura irrigada no semiárido: Uma análise histórica e atual de diferentes opções de política, **Texto para Discussão**, No. 2369, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada 2018.

ERTHAL, E. S.; BERTICILLI, R. Sustentabilidade: Agricultura irrigada e seus impactos ambientais. **CIÊNCIA & TECNOLOGIA**, v. 2, n. 1, p. 64-74, 2018.

FERREIRA, G.B.; COSTA, M.B.B.; SILVA, M.S.L.; MOREIRA, M.M.; GAVA, C.A.T.; CHAVES, V. C.; MENDONÇA, C.E.S. Sustentabilidade de agroecossistemas com barragens subterrâneas no semiárido brasileiro: a percepção dos agricultores na Paraíba. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Pelotas, v. 6, n. 1, p. 19-36, 2011.

FISCHER, A. M. *et al.* Climate change projections for Switzerland based on a Bayesian multi-model approach. **International Journal of Climatology**, v. 32, n. 15, p. 2348-2371, 2012.

JAISWAL, Supriya; BALLAL, Makarand S. Fuzzy inference based irrigation controller for agricultural demand side management. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 175, p. 105537, 2020.

KANG, S.; ELTAHIR, E. A. B. North China Plain threatened by deadly heatwaves due to climate change and irrigation. **Nature communications**, v. 9, n. 1, p. 1-9, 2018.

LIMA, T. S.; CANDEIAS, A. L. B.; CUNHA, M. C. C. Bioindicadores e Sensoriamento Remoto como Subsídios à Gestão dos Recursos Hídricos no Semiárido Brasileiro (Bioindicators and Remote Sensing as Subsidies for the Management of Water Resources in the Brazilian Semi-arid). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, p. 1974-1994, 2017.

LINDBLÖM, J. **Condensation irrigation: a combined system for desalination and irrigation**. 2012. Tese de Doutorado. Luleå tekniska universitet.

LINDOSO, D. P. ; ROCHA, J. D; DEBORTOLI, N. ; PARENTE, I. I; EIRÓ, F.; BURSZTYN, M.; RODRIGUES FILHO, S. Integrated assessment of smallholder farming's vulnerability to drought in the Brazilian Semi-arid: a case study in Ceará. **Climatic Change**, v. 127, n. 1, p. 93-105, 2014.

LOBELL, D. B.; BÄNZIGER, M.; MAGOROKOSHO, C.; VIVEK, B. Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trials. **Nature climate change**, v. 1, n. 1, p. 42-45, 2011.

MACEDO, M. F. S. Técnicas de irrigação, o desenvolvimento da agricultura e do agronegócio: uma análise à luz da proteção humana e da cidadania frente à crise hídrica nacional. **Campo Jurídico**, v. 3, n. 2, p. 39-54, 2015.

MARENGO, J. A. *et al.* Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. **Climate Dynamics**, v. 35, n. 6, p. 1073-1097, 2010.

MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. **Climatic Change**, v. 129, n. 1, p. 103-115, 2015.

PEREIRA NETO, M. C. Perspectivas da açudagem no semiárido brasileiro e suas implicações na região do Seridó potiguar. **Sociedade & Natureza**, v. 29, n. 2, p. 285-294, 2017.

PEREIRA, G. H. A.; LOHMANN, M.; MAGANHOTTO, R. F. Proposta e avaliação de índices para delimitar e mapear corpos d'água utilizando imagens do satélite LANDSAT 8. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 06, p. 1956-1968, 2016.

PEREIRA, T. M. S. SANTIAGO, M. S.; SILVA, J. A. L.; MOURA, D. C. Tanques de pedra: tecnologia social voltada a gestão hídrica. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 4, n. 1. 016-023, 2018.

PONTES, E. T. Mendes; MACHADO, T. A. Desenvolvimento Sustentável e Convivência com o Semi-Árido: o caso do programa um milhão de cisternas rurais no nordeste brasileiro. **Encontro Nacional de Geografia Agraria**, v. 19, 2012.

ROY, P. C. *et al.* Crop yield simulation optimization using precision irrigation and subsurface water retention technology. **Environmental Modelling & Software**, v. 119, p. 433-444, 2019.

SADO, R. R.; WARREN, Morris. S.; ROIG, H. L. Estimativa de irrigação por meio de sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do Alto São Marcos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 3, p. 787-802, 2018.

SANTIAGO, F. MONTENEGRO, S. PINHEIRO, M. Índice de qualidade do solo em cultivo agroecológico e convencional no semiárido potiguar, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 2018.

SILVA, A. E. B. **Tecnologias sustentáveis como ferramenta de gestão hídrica no semiárido nordestino**: o caso do bioágua. 2018. 27 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Gestão de Recursos Hídricos, Ambientais e Energéticos, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável - IEDS, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2018.

SILVA, C. O. F.; MANZIONE, R. L.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L. SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL PARA MANEJO DA IRRIGAÇÃO: uma revisão sistêmica. In: V INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 5., 2019, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3G9VKaA>. Acesso em: 25 ago. 2020.

SILVA, E. R. A. C. *et al.* Consumo de água na irrigação para cultivo da bananeira nas condições edafoclimáticas da bacia do riacho do Pontal no Semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 08, n. 03 (2015) 921-937.

SILVA, M. J. N.; KHAN, A. S. Tecnologias sociais de reaproveitamento de água para irrigação: efeitos na renda e na sustentabilidade dos agricultores familiares cearenses. In: FRANÇA, J. M; MONTEIRO, R. M. L.; SOUSA, F. J. (org.). **Economia do Ceará em debate 2019**. Fortaleza: Ipece, 2020. p. 254-276.

TOMOZEIU, R.; AGRILLO, G; CACCIAMANI, C; PAVAM. V. Statistically downscaled climate change projections of surface temperature over Northern Italy for the periods 2021-2050 and 2070-2099. **Natural hazards**, v. 72, n. 1, p. 143-168, 2014.