

A difusão de tecnologias no meio agrícola na Caatinga – a região de clima semiárido brasileiro

The diffusion of technologies in the agricultural environment in the Caatinga – a region with a semi-arid climate in Brazil

La difusión de tecnologías en el ambiente agrícola en la Caatinga – región de clima semiárido brasileño

Marcelo Costa Borba¹

Josefa Edileide Santos Ramos¹

José Eduardo Melo Barros²

João Armando Dessimon Machado³

Recebido em 13/07/2022; revisado e aprovado: 04/10/2022; aceito em: 06/12/2022

DOI: <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v24i1.3767>

Resumo: O uso de tecnologias influencia diretamente a produtividade no agronegócio, sendo elas determinantes para uma produção economicamente viável em ambientes com condições climáticas adversas, como o semiárido brasileiro. Assim, este artigo faz a análise, por meio de uma revisão sistemática, das tecnologias usadas no meio agrícola na região de clima semiárido brasileira, o bioma Caatinga. Os resultados apresentam inicialmente as tecnologias de convivência com o semiárido ou técnicas sociais, com destaque para os métodos de manejo do solo, aproveitamento da água da chuva e preparo de ração animal. Já em relação às tecnologias propriamente ditas, as evidências convergem para a utilização tecnológica direcionada à viabilidade da produção, diversificação e ao tempo de colheita, principalmente de culturas irrigadas. Outrossim, o melhoramento genético contribuiu para a propagação de culturas resistentes e para o aumento da população de animais. Ao mesmo tempo que foi possível identificar o nível tecnológico da atividade agrícola na Caatinga, a qual, na maior parte do bioma, apresenta baixo uso de tecnologias, caracterizado por atividades de subsistência, mão de obra familiar e monocultura, por outro lado, em polos locais agrícolas, ocorre a utilização de sistemas integrados e agropecuária de base biológica.

Palavras-chave: colheita perene; agricultura de sequeiro; fronteira de produção; gestão do conhecimento; sistemas produtivos.

Abstract: The use of technologies directly influences agribusiness productivity, being crucial for economically viable production in environments with adverse climate conditions, such as the Brazilian semiarid region. Thus, this article analyzes, through a systematic review, the technologies used in the agricultural environment in the Brazilian semiarid climate region, the Caatinga biome. The results initially present technologies for coexistence with the semiarid region or social techniques, with emphasis on methods of soil management, use of rainwater, and preparation of animal feed. About the technologies themselves, the evidence converges to the technological use directed to the viability of production, diversification, and harvest time, mainly for irrigated crops. Furthermore, genetic improvement also contributed to the propagation of resistant crops and the increase in the population of animals. At the same time, it was possible to identify the technological level of agricultural activity in the Caatinga, which, in most of the biome, has low use of technologies, characterized by subsistence activities, family labor, and monoculture, on the other hand, in local centers agricultural systems, there is the use of integrated systems and biologically-based agriculture.

Keywords: perennial harvest; rainfed agriculture; production frontier; knowledge management; productive systems.

Resumen: El uso de tecnologías influye directamente en la productividad de los agronegocios, siendo decisivo para una producción económicamente viable en ambientes con condiciones climáticas adversas, como el semiárido brasileño. Así, este artículo analiza, a través de una revisión sistemática, las tecnologías utilizadas en la agricultura en la región semiárida brasileña, el bioma Caatinga. Los resultados presentan inicialmente

¹ Instituto Nacional do Semiárido (INSA), Campina Grande, Paraíba, Brasil.

² Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, Pernambuco, Brasil.

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.



las tecnologías de convivencia con el semiárido o técnicas sociales, con énfasis en los métodos de manejo del suelo, aprovechamiento del agua de lluvia y preparación de alimentos para animales. En cuanto a las tecnologías en sí, la evidencia converge en el uso de tecnología orientada a la viabilidad de la producción, diversificación y tiempo de cosecha, especialmente para cultivos de riego. Además, la mejora genética también ha contribuido a la propagación de cultivos resistentes y al aumento de la población animal. Al mismo tiempo que fue posible identificar el nivel tecnológico de la actividad agrícola en la Caatinga, a cual, en la mayor parte del bioma, presenta bajo uso de tecnologías, caracterizado por actividades de subsistencia, trabajo familiar y monocultivo, por otro lado, en los polos agrícolas locales, se utilizan sistemas integrados y la agricultura de base biológica.

Palabras clave: cosecha perenne; agricultura de secano; frontera de producción; conocimiento administrativo; sistemas de producción.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada na Caatinga tem contribuído para o fortalecimento socioeconômico por meio de práticas agrícolas diversificadas, impulso à agroindústria e exportação de produtos em larga escala (LACERDA *et al.*, 2021). Isso se tornou possível a partir da implementação de modernos sistemas de transporte de águas do rio São Francisco ou de reservatórios até as propriedades rurais (PEREIRA; CARMO, 2014), bem como pelo uso de alta tecnologia paralelamente associada à entrada de empresas agrícolas, agroquímicas, agroindustriais, atacadistas e varejistas (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2020), fato este que transformou áreas “marginais” em “vales” ou regiões integradas de desenvolvimento agrícola, sendo esses os principais responsáveis por produzir e exportar frutas no Brasil (CARNEIRO *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2020a). Todavia, o setor agrícola, mesmo na Caatinga, não se comporta de forma homogênea, pois esse exemplo de maior nível tecnológico se aplica a áreas restritas, em que, na maior parte do bioma, os produtores têm de conviver com condições geográficas, institucionais e estruturais distintas (SILVA *et al.*, 2019).

No país, cerca de 50% dos estabelecimentos da agricultura familiar concentram-se no Nordeste, com ampla maioria situada na região de clima semiárido; o restante percentual corresponde a 19% no Sul, 16% no Sudeste, 10% no Norte e 5% no Centro-Oeste (MASSRUHÁ *et al.*, 2020). Os estabelecimentos da agricultura familiar no bioma produzem de forma convencional, pouco produtiva, sendo tipicamente uma prática com baixo uso de insumos e composta por mais de uma atividade produtiva na mesma área, como a agricultura de subsistência e a pecuária extensiva (VILELA; CALLEGARO; FERNANDES, 2019). A agricultura tradicional adota o modelo migratório ou itinerante: desmatamento total; queimada da madeira; cultivo em períodos – em média, dois anos e repouso para a fertilidade do solo. Nessas áreas, também há o desenvolvimento de sistemas perenes – atividade sequeira por meio da plantação de fruteiras como umbuzeiro, cajueiro e outras (ARAÚJO FILHO, 2013). Em alguns locais férteis, como vazantes, os plantios são feitos em barramentos, com o aproveitamento de água por meio de barragens subterrâneas ou mesmo pelo uso de irrigação por pequenos “açudes” e “barreiros”.

Na região Nordeste, a pecuária concentra-se nos rebanhos de bovino, caprino e ovino, os quais equivalem a aproximadamente 12%, 92% e 65% dos respectivos plantéis nacionais – a maior parte criada na região da Caatinga (IBGE, 2017a), indicando a importância da pecuária para os residentes rurais no bioma (ARAÚJO FILHO, 2013). A criação de animais se destina à produção de carne e leite contribuindo como fonte de renda para as famílias (SANTOS *et al.*, 2012). Na Caatinga, o rebanho médio é inferior à capacidade de carga da terra, em que cerca de 66% das propriedades têm menos de 10 hectares e 30% estão abaixo de 100 hectares (HOFFMANN; NEY,

2010; MUIR *et al.*, 2019). Já na silvicultura destaca-se a extração de madeira para produção de lenha (segunda fonte de energia mais utilizada da matriz energética, depois da energia elétrica), gerando dependência dos recursos florestais (ANDRADE *et al.*, 2019b; ARAÚJO FILHO, 2013; COELHO JUNIOR; MARTINS; CARVALHO, 2019); além da lenha e do carvão, a vegetação lenhosa da Caatinga fornece estacas para a confecção de cercas e varas para suporte às plantações (ARAÚJO FILHO, 2013; COELHO JUNIOR *et al.*, 2020). A vegetação nativa é resiliente diante das condições climáticas de semiaridez, fazendo parte da vida do homem do campo por meio das seguintes finalidades: frutíferas, medicinais, melíferas e para construção civil (BARACUHY; FURTADO; FRANCISCO, 2017).

O bioma Caatinga é a região de sequeiro mais populosa do planeta, sendo extremamente vulnerável à degradação do solo, em decorrência de fatores climatológicos e antrópicos adversos (SANTOS *et al.*, 2020a). Dentre esses fatores, a seca – período longo de deficiência hídrica – é o que mais afeta a sociedade, por atuar em grandes extensões territoriais e por longos períodos, impactando significativamente os aspectos edáficos, meteorológicos e hídricos (ROCHA JÚNIOR *et al.*, 2020; SANTOS *et al.*, 2020b). Com a maior frequência e duração de eventos de seca na região, associados às mudanças climáticas e ao aumento de temperaturas, a tendência é limitar atividades como a própria agricultura de subsistência, comprometendo ainda mais as condições socioeconômicas, além de intensificar a degradação ambiental (SILVA *et al.*, 2020b, 2020c). Neste sentido, a caracterização de tecnologias no meio agrícola no bioma pode ajudar na busca por ferramentas de melhoramento e elaboração de projetos, tendo em vista o maior desenvolvimento agrícola (BORBA *et al.*, 2022).

Diante do que foi exposto, o objetivo desta pesquisa é descrever as tecnologias atualmente utilizadas na atividade agrícola no bioma Caatinga. Com isso, analisar os sistemas de produção e as estratégias de manejo das culturas e dos rebanhos. Este trabalho é estruturado em três partes, além da introdução; na primeira, são abordados os aspectos metodológicos da pesquisa, com a descrição das etapas da revisão sistemática da literatura. Nela também foi caracterizado o bioma Caatinga, locus de investigação desta pesquisa. Os desfechos são destaque na segunda parte da revisão que apresenta a descrição das técnicas sociais, tecnologias e discussões. Por último, na conclusão, são apresentadas as considerações finais e as perspectivas futuras para a atividade agrícola na Caatinga.

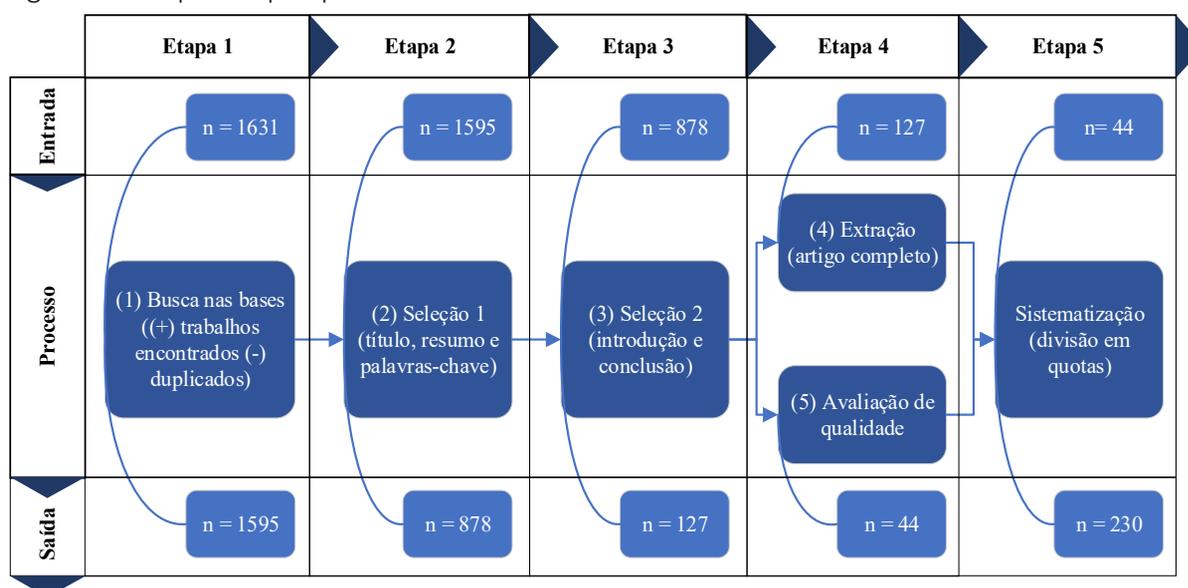
2 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Este artigo corresponde a uma revisão sistemática da literatura feita a partir da busca de dados nas principais bases de dados bibliográficos, *Science Direct*, *Scopus*, *Springer Link* e *Web of Science*, sendo complementada com pesquisas nas bases direcionadas a tecnologias e pesquisa em geral: *ACM Explore*, *Google Scholar*, *IEEE Xplore* e *Scielo.org*. As bases de dados foram escolhidas em decorrência de sua ampla cobertura de literatura relevante ao tema proposto e, ainda, por recursos bibliométricos avançados, como sugerir literatura relacionada ou citações. A busca foi realizada usando a combinação de caracteres em inglês: [(techn*) AND (agric*) AND (“semiarid northeastern Brazil” OR “semiarid north-eastern Brazil” OR “brazil semiarid” OR “brazil semi-arid” OR caatinga)]. A pesquisa correspondeu a todo o período de publicação encontrado até o ano de 2020 (1965-2020), com o critério de inclusão: ser artigo completo e de acesso livre em inglês e português, uma vez que inglês representa a língua com maior número de publicações

nas bases, e o português representa a língua local da temática. A questão norteadora desta revisão sistemática foi: quais são as tecnologias utilizadas na atividade agrícola na região de clima semiárido brasileira, Caatinga: definições, caracterização e aplicação?

A partir da pergunta definida, a revisão sistemática foi desenvolvida, sendo realizada em cinco etapas: (i) busca nas bases bibliográficas com a combinação dos caracteres, seleção total dos artigos em cada base e geração do arquivo *bibtex*, conseqüentemente importado para o *software* Start 3.3 para organização dos dados e identificação dos artigos duplicados; (ii) leitura do título e resumo com o intuito de selecionar os artigos que tinham alguma ligação à pergunta de pesquisa; (iii) leitura da introdução e conclusão, sendo selecionados os artigos que possuíam na introdução ou na conclusão indícios que respondessem à questão da revisão; (iv) leitura dos artigos completos para contemplar a seleção e extração dos artigos finais, sendo realizada, logo após, uma nova releitura dos artigos selecionados, para contemplar a avaliação da qualidade dos artigos finais, por meio da escala de Likert: (1) discordo totalmente, (2) discordo, (3) indiferente (ou neutro), (4) concordo e (5) concordo totalmente, com a escolha dos artigos agrupados nas escalas (4) e (5); e (v) sistematização com a escolhas das quotas – frases ou parágrafos destacados dentro dos artigos, ligados à pergunta da pesquisa. Ver Figura 1, acerca das etapas de sistematização da revisão.

Figura 1 – Etapas da pesquisa e revisão

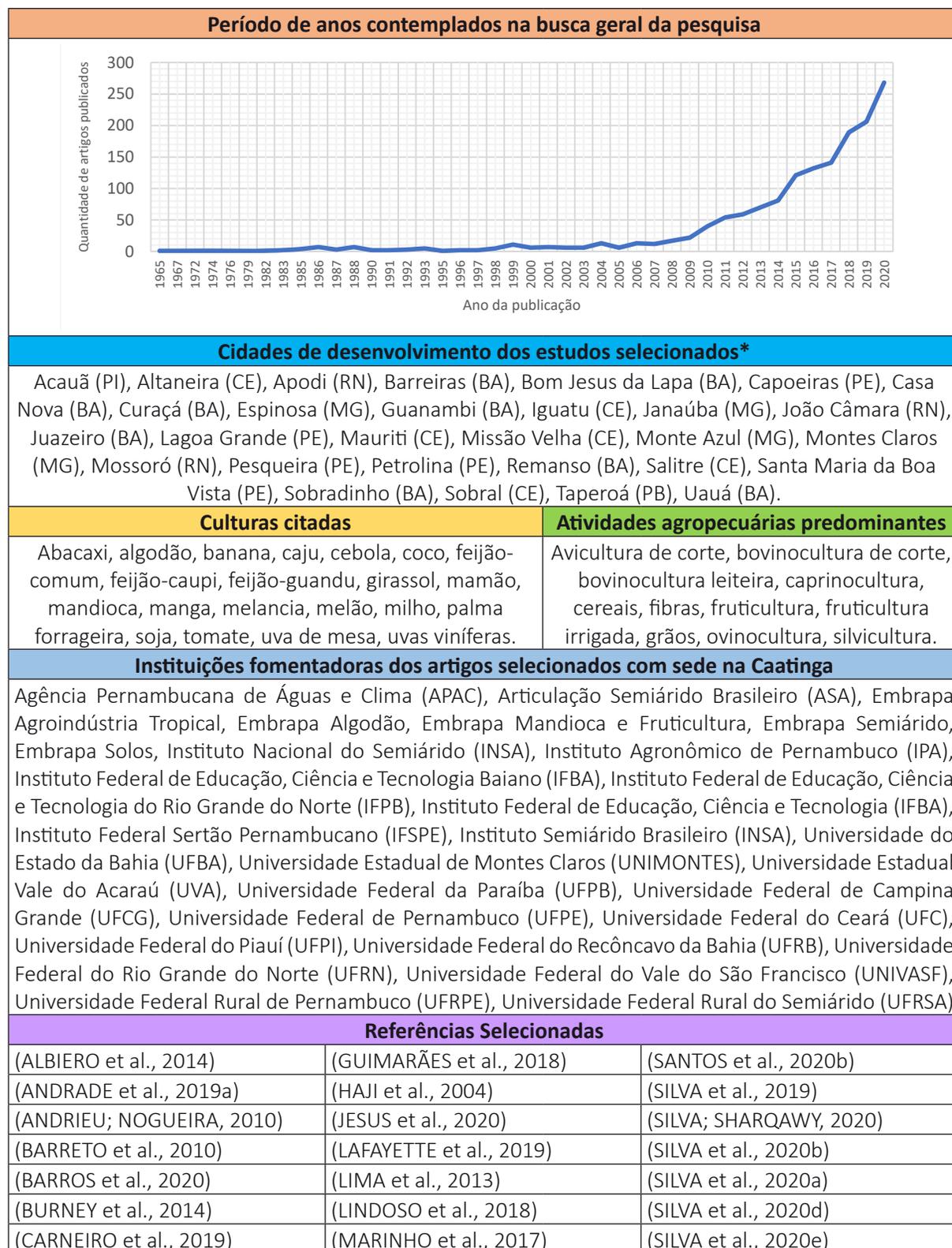


Fonte: Dados da Pesquisa (2021).

Esta revisão seguiu o protocolo de Principais Itens para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-Análises – PRISMA (LIBERATI *et al.*, 2009), por considerá-lo uma estrutura metodológica prática, transparente e que possibilita replicações. O desenvolvimento da pesquisa ocorreu no período de janeiro a maio de 2021, sendo conduzida por quatro pesquisadores (três executores e um supervisor), apoiados pelos *softwares*: StArt (3.3 Beta 03), para a organização dos dados e seleção dos artigos; e Mendeley (1.19.4), para a gestão bibliográfica. A seguir, é apresentada a Figura 2, sobre dados gerais da revisão sistemática. Nela, é possível visualizar o gráfico das publicações de forma anual, com destaque para o aumento dos estudos a partir do ano de 2010.

Em relação aos locais dos estudos, o estado da Bahia tem a maior quantidade de trabalhos selecionados, cabendo destacar que alguns estudos tinham como foco toda a região semiárida. Já nas atividades desenvolvidas e as culturas analisadas, os resultados direcionam para a predominância da agricultura em relação à pecuária.

Figura 2 – Dados anuais, localização, culturas estudadas e atividades predominantes analisadas



Referências Seleccionadas		
(CARVALHO et al., 2019)	(OLDONI; BASSOI, 2016)	(TEIXEIRA; BASTIAANSSEN, 2012)
(CAVALCANTE JÚNIOR et al., 2019)	(OLIVEIRA; RODRIGUES, 2020)	(TEIXEIRA; BASTIAANSSEN; BASSOI, 2007)
(COTRIM et al., 2011)	(PESSOA et al., 2016)	(VASCONCELOS et al., 2018)
(FERNANDES et al., 2020)	(QUEIROZ et al., 2012)	(VENANCIO et al., 2020)
(FERREIRA et al., 2020)	(REIS et al., 2019)	(VISSES; SENTELHAS; PEREIRA, 2018)
(FOLHES; RENNÓ; SOARES, 2009)	(SANTOS et al., 2017)	-----
(FREITAS et al., 2019)	(SANTOS; MOREIRA; RODRIGUES, 2013)	-----

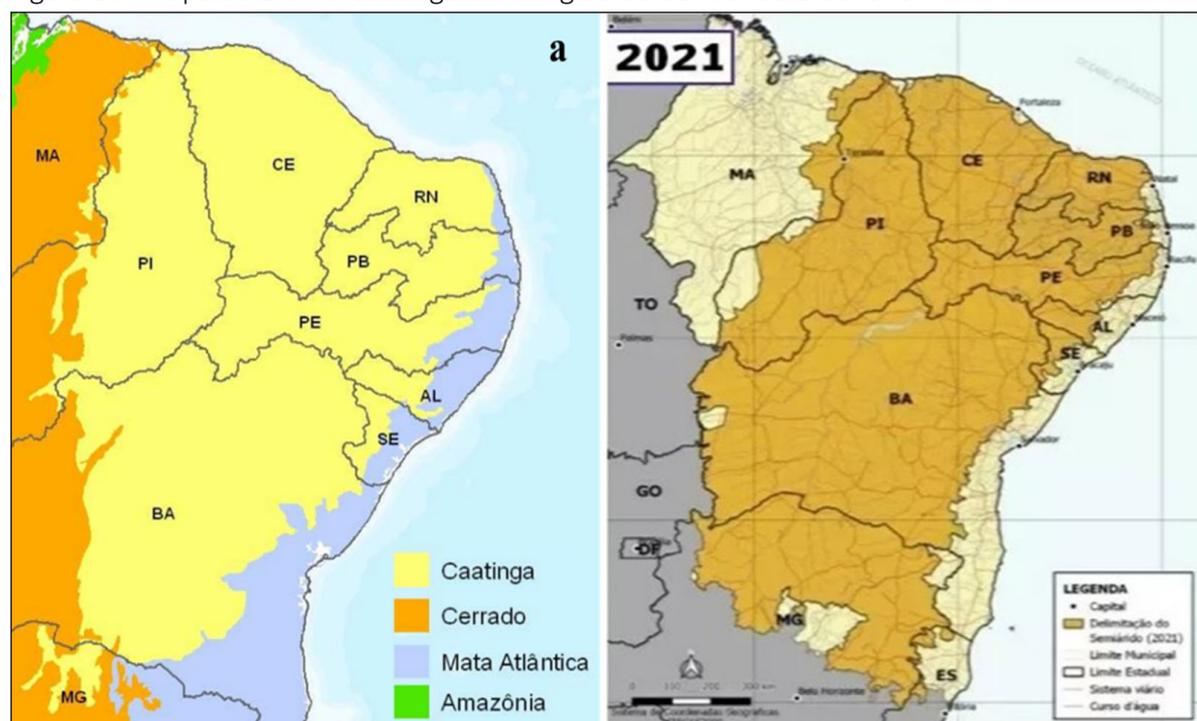
*Alguns estudos não tratam de uma cidade específica, mas das áreas semiáridas de cada estado em particular, da combinação de mais de um estado ou de toda a região da Caatinga.

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

O local de estudo corresponde a toda a região de clima semiárido brasileira, o bioma Caatinga. Cabe destacar que, no Brasil, o termo semiárido remete tanto ao clima como à região geográfica, em que o termo “Clima Semiárido” é utilizado para delimitar áreas onde a precipitação pluviométrica é menor que a quantidade de água que evapora – essa área corresponde à região do bioma Caatinga (MOURA *et al.*, 2007). Já a região denominada Semiárido Brasileiro (SAB) configura-se como uma delimitação político-geográfica da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) para o desenvolvimento de políticas públicas específicas, ao limitar uma área com condições climáticas dominantes de semiaridez devido à precipitação média inferior a 800 mm por ano, índice de aridez inferior a 0,5 e risco de seca superior a 60% (SUDENE, 2017a, 2017b).

A SAB tem clima semiárido e tropical, com locais pertencentes aos biomas Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica, enquanto a região de clima semiárido concentra, unicamente, as áreas do bioma Caatinga (INSA *et al.*, 2013), como se pode observar na Figura 3. Assim, este estudo busca discorrer sobre a região de clima semiárido, por ser uma classificação que leva em consideração uma delimitação geográfica de clima e fatores mais homogêneos que a SAB. A escolha do local da pesquisa se deu em decorrência do baixo número de estudos sobre a região semiárida mais populosa do mundo, ao passo que também representa a região mais pobre do Brasil no Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (FERREIRA *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2019), adicionada às tendências demográficas de migração de jovens para as cidades, do envelhecimento da população rural (LINDOSO *et al.*, 2018) e às tendências climáticas que afetam o fluxo dos rios, o armazenamento de água e a produção irrigada no bioma (BURNEY *et al.*, 2014).

Figura 3 – Mapa do Bioma Caatinga e da Região do Semiárido Brasileiro



Legenda: (a) Mapa do bioma Caatinga e suas delimitações com os demais biomas; (b) Mapa da Região Semiárida Brasileira sobreposto aos dez estados brasileiros. Essa delimitação foi criada em 2007 e atualizada em 2021, para substituir a antiga região do polígono das secas.

Fonte: IBGE (2004a, 2021).

A Caatinga é uma região ecológica que se encontra no interior do SAB, com área total de 844.453 km² (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE [MMA], 2019). O termo “Caatinga” significa “Floresta Branca”, fenômeno caracterizado por árvores sem folhas durante a maior parte do ano – estação seca (PRADO, 2003). Essa região equivale a aproximadamente 10% do território nacional, com áreas correspondentes a 100% do Ceará (CE); 95% do Rio Grande do Norte (RN); 92% da Paraíba (PB); 83% do Pernambuco (PE); 63% do Piauí (PI); 54% da Bahia (BA); 49% do Sergipe (SE); 48% de Alagoas (AL); 2% de Minas Gerais (MG); e 1% do Maranhão (MA) (IBGE, 2004).

Cerca de vinte e sete milhões de pessoas residem na área da Caatinga (MMA, 2019). Essa população vive em 1.210 municípios, incluindo duas capitais estaduais – Fortaleza, CE, e Natal, RN (IBGE, 2004a). A densidade populacional é pouco homogênea em toda a região, com altas densidades encontradas ao longo das fronteiras orientais e ao longo da costa. Em contraste, os municípios com baixa densidade populacional são encontrados principalmente ao longo das fronteiras ocidentais na transição para o Cerrado. A maior parte dos recursos hídricos provém do rio São Francisco, cujas águas abastecem vários municípios que as utilizam para consumo humano, geração de energia e atividade agrícola (FERREIRA *et al.*, 2020), fato que lhe confere um potencial para o desenvolvimento da agricultura irrigada em alguns locais, como a Região Integrada de Desenvolvimento Econômico do Polo Petrolina e Juazeiro (RIDE) (SANTOS *et al.*, 2017). Há outros rios na região, alguns perenes, mas com baixa carga hídrica, já outros são temporários e desaparecem no período de estiagem. Essa condição é causada pela variação pluviométrica na região: 68,8% da área recebe entre 600 e 1.000 mm/anuais; 22,5% recebem menos de 600 mm/anuais; e apenas 8,7% recebem mais de 1.000 mm/anuais concentrados em

um período de 90 dias no ano (ANDRADE *et al.*, 2017). Contrastando com as precipitações baixas e irregulares, a evapotranspiração potencial é alta, entre 1.500 e 2.000 mm ao ano (VELLOSO; SAMPAIO; PAREYN, 2001). O tipo de vegetação dominante na região é uma Floresta Tropical Sazonalmente Seca (*Seasonally Dry Tropical Forest* [SDTF]) (PENNINGTON; LAVIN; OLIVEIRA-FILHO, 2009). Contextualizado o local de estudo, a seção a seguir traz um panorama do uso de técnicas e tecnologias no meio agrícola na Caatinga em vistas de contemplar os resultados desta pesquisa.

3 RESULTADOS

Como já foi dito anteriormente, o setor agrícola, dentro do bioma Caatinga, apresenta condições distintas de desenvolvimento, afetadas por fatores geográficos, culturais, históricos, institucionais, estruturais e tecnológicos (SILVA *et al.*, 2019, 2020a). As técnicas sociais são citadas, em grande parte dos artigos, como tecnologias adaptativas, sendo praticadas em diferentes locais do bioma. A recorrência de tais técnicas suscitou um tópico específico neste estudo e que não pode ser ignorado em trabalhos que tratam de tecnologia na Caatinga. Assim, a apresentação dos resultados a seguir adotou uma divisão entre técnicas sociais e as tecnologias propriamente ditas.

3.1 Técnicas sociais

Na maior parte do bioma, a atividade agrícola se baseia na agricultura familiar de subsistência – correspondendo a uma atividade de baixa produtividade, em que as tecnologias sociais ou de convívio com o semiárido têm sido importantes na produção agropecuária –, visando minorar as lacunas na produtividade agrícola – *deficit* hídrico e manejo da cultura em pequenas e médias propriedades (BURNEY *et al.*, 2014; JESUS *et al.*, 2020; MAIA *et al.*, 2018). Na Caatinga, a água é um recurso estratégico fundamental para o desenvolvimento da atividade agrícola (FOLHES; RENNÓ; SOARES, 2009; SANTOS *et al.*, 2020b) e a produção de subsistência passa pela gestão de reservatórios superficiais escavados em bacias de pequenos rios e córregos, captando e armazenando o escoamento superficial em barragens abertas como os açudes, as vagens agrícolas e os barreiros; outras estruturas correspondem aos tanques de pedra, às barragens de trincheira e às barragens de irrigação suplementar (LINDOSO *et al.*, 2018, p. 2).

O uso de estoques subterrâneos é limitado, sendo esses tradicionalmente explorados por meio da construção de corpos d'água na forma de poços rasos escavados no leito seco dos rios e riachos, as “cacimbas” e os “cacimbões” (LINDOSO *et al.*, 2018). Como a água subterrânea não é um recurso totalmente renovável e a taxa de retirada supera a taxa de recarga em alguns locais no semiárido, a escassez desse recurso tem aumentado, ao passo que as áreas adequadas para a irrigação de plantações têm se tornado raras (MAIA *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2020b). Em alguns locais, a água obtida nos poços subterrâneos é salobra e geralmente não potável – oitenta por cento do território no semiárido brasileiro corresponde a formações geológicas com xisto, marga, calcário, silvita, gesso e halita, com grande quantidade de sais de cálcio e magnésio, que deixam a água subterrânea salobra (PESSOA *et al.*, 2016; SILVA; SHARQAWY, 2020). Mesmo assim, é comum o uso de água com teor moderado a alto de sal na irrigação das lavouras e hidratação de animais, uma ação paliativa à escassez de água, mas que afeta a produção, degrada os solos ao longo dos anos de cultivo e influencia negativamente a sustentabilidade agrícola na região (COSTA; MEDEIROS, 2018; DINIZ *et al.*, 2020; PESSOA *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2020c). Cabe destacar também que a irrigação não é uma prática viável para a maioria dos pequenos

agricultores, devido aos custos dos sistemas de irrigação (VISSÉS; SENTELHAS; PEREIRA, 2018).

Da mesma forma, a dessalinização da água é uma técnica alternativa com alto potencial para subsidiar cultivos irrigados e promover o uso sustentável da água subterrânea salobra disponível (CAVALCANTE JÚNIOR *et al.*, 2019). No entanto, devido aos altos custos de implantação e gestão dos sistemas de dessalinização, sua implementação depende do poder público, o qual, por meio do Programa Água Doce do Governo Federal, instalou cerca de 575 sistemas, a maior parte concentrada nos estados do CE e BA, por possuir uma elevada estrutura de eletrificação rural nesses estados (SILVA; SHARQAWY, 2020). A dessalinização nesses sistemas é feita por osmose reversa, em que bombas de alta pressão forçam a água por meio das membranas semipermeáveis seletivas que atuam como barreiras físicas separando os sais dissolvidos e outras impurezas da água (CAVALCANTE JÚNIOR *et al.*, 2019). Essa técnica também demanda um elevado consumo de energia durante a operação, tornando-se uma prática inviável para a maioria dos pequenos agricultores (SILVA; SHARQAWY, 2020).

A cisterna de produção, tanques de concreto cobertos e abastecidos por água recolhida do pátio de concreto do lado, é uma alternativa utilizada pela agricultura familiar para a irrigação de pequenas hortas ao redor da casa que fornecem alimento para as famílias e geração de renda em caso de excedentes de produção (LINDOSO *et al.*, 2018). Outra técnica que se insere nesse contexto é a barragem subterrânea, uma obra hidroambiental submersível, com objetivo de acumular e armazenar água da chuva em diferentes zonas do solo, para o abastecimento humano (familiar e comunitário), animal e produção agrícola – aproveitamento do espelho de água em forma de vazantes para a produção em pequenas quantidades de culturas como macaxeira, batata e feijão (LIMA *et al.*, 2013). Ter um corpo de água na propriedade representa também o incremento na produção agrícola e pecuária em mais de quinze por cento nas pequenas propriedades (MAIA *et al.*, 2018).

O uso de fertilizantes químicos na agricultura familiar do semiárido é ínfimo, devido à variabilidade das chuvas, à disponibilidade de recursos financeiros e à rentabilidade das atividades agrícolas (JESUS *et al.*, 2020). Em locais com problemas físicos do solo, são utilizados os fertilizantes orgânicos ou verdes, como o esterco bovino; embora paliativa, essa prática propicia a reciclagem de nutrientes e a melhora da estrutura física do solo, com o aumento de carbono, nitrogênio e outros nutrientes, em plantações de feijão, milho, fava e mandioca (BARRETO *et al.*, 2010; CARNEIRO *et al.*, 2019; JESUS *et al.*, 2020; VISSÉS; SENTELHAS; PEREIRA, 2018). Outra alternativa é a rotação de culturas, a qual utiliza o revezamento de culturas para promover a cobertura do solo e melhorar os atributos físicos, químicos e biológicos, bem como agir na supressão de pragas, doenças e infestação de plantas daninhas (BARRETO *et al.*, 2010; VISSÉS; SENTELHAS; PEREIRA, 2018).

O desenvolvimento de ações adaptadas ao semiárido tem se tornado um aliado importante para o manejo do solo, aproveitamento da água da chuva e cultivo de culturas (MAIA *et al.*, 2018), em que a resiliência das safras à seca depende das práticas de manejo adaptadas, influenciando diretamente na produtividade das culturas e tornando a produção economicamente viável (FREITAS *et al.*, 2019). O manejo agroecológico é uma dessas práticas que têm incitado adeptos na Caatinga ao valorizar a biodiversidade, diminuir o uso de insumos materiais e elevar a capacidade produtiva da terra (BARRETO *et al.*, 2010). O manejo agroecológico é impulsionado por programas de extensão de instituições de ensino e envolve a formação dos sistemas agroflorestais: silviagrícola – caracteriza-se pela combinação de árvores ou arbustos com espécies agrícolas; silvipastoril –

combina árvores ou arbustos com plantas forrageiras herbáceas e animais; e agrissilvipastoril – combina árvores com pastagem, animais e lavoura agrícola no mesmo ambiente (BARRETO *et al.*, 2010; COSTA; ARRUDA; OLIVEIRA, 2002). O manejo agroecológico tem resultado numa diminuição das queimadas no bioma; conseqüentemente, está havendo uma recuperação da cobertura vegetal e uma diminuição no ritmo de desertificação na Caatinga (SILVA *et al.*, 2020b).

Na pecuária, a atividade predominante é a de corte, com número médio inferior a oito cabeças (cabeças/família) para agricultores familiares e quarenta cabeças para propriedades não familiares, mas também há destaque para os rebanhos caprinos e ovinos, tradicionais no semiárido – média de três cabeças na agricultura familiar e cinco para não familiar (MAIA *et al.*, 2018). Em relação à pecuária leiteira, base econômica dos pequenos e médios produtores no semiárido baiano e mineiro, a produtividade é afetada pela oferta irregular de alimentos ao longo do ano, paralelamente afetada pelo uso de cruzamentos não adaptados ao clima ou com baixo potencial de produção – animais mestiços oriundos, por exemplo, de raças: holandês x zebu (CARVALHO *et al.*, 2019; VASCONCELOS *et al.*, 2018). Estas características fazem o setor agropecuário no bioma um empreendimento cercado de riscos e com acesso limitado aos mercados (SILVA *et al.*, 2019). Os índices de produção e qualidade do leite produzido no bioma são bem inferiores aos apresentados em locais referências na produção de leite (SILVA *et al.*, 2020c). Isso, muitas vezes, é causado pelo precário acesso a tecnologias e assistência técnica (VASCONCELOS *et al.*, 2018). A ordenha mecânica é um equipamento pouco comum, com o predomínio da ordenha manual (MAIA *et al.*, 2018), assim como o uso de inseminação artificial também é pouco observado nas fazendas, utilizando-se o serviço natural de vaca/touro para a reprodução animal (VASCONCELOS *et al.*, 2018). Por outro lado, o cooperativismo/associativismo tem tido um substancial papel na pecuária leiteira, de maneira a integrar os produtores entre si e com o mercado consumidor, facilitando a comercialização e ajudando, algumas vezes, na infraestrutura tecnológica necessária para produção de derivados do leite (MAIA *et al.*, 2018).

Os recorrentes períodos de secas têm resultado na diversificação da base agropecuária com foco em pequenos ruminantes, pois os agricultores tendem a se desfazer dos animais maiores a fim da diminuição de ração (MAIA *et al.*, 2018) – algo que tem se revelado uma ação estratégica, pois, em zonas como a da Caatinga, o gado é criado por uma questão de prestígio, sendo as espécies de caprinos e ovinos mais resilientes ao clima (ANDRIEU; NOGUEIRA, 2010; FARIAS *et al.*, 2014; MAIA *et al.*, 2018). A pastagem nativa é o principal alimento dos rebanhos no semiárido com a exploração via sistema extensivo (BARRETO *et al.*, 2010). A complementação da alimentação dos rebanhos se dá por meio do cultivo de pastagens como palma forrageira, gramíneas e sobras das plantações, os dois últimos, quando em excedentes, são transformados em forragens e armazenados em silos naturais para serem usados no período seco (FERNANDES *et al.*, 2020). Há, por parte de produtores com maior quantidade de animais, a compra de rações enriquecidas com proteínas, como farelo de soja e milho, na perspectiva de aumentar a produtividade do leite ou engorda do gado de corte; mas esses produtores acabam por fornecer aos animais quantidades calculadas incorretamente, principalmente por falta de informação/ assistência técnica (BURNEY *et al.*, 2014; CARVALHO *et al.*, 2019).

O acesso à assistência técnica se dá, na maioria das vezes, por meio das empresas de Assistência Técnica e de Extensão Rural (ATER) estaduais, pelas universidades, pelos institutos federais, por organizações não governamentais e pelos bancos públicos (ANDRIEU; NOGUEIRA, 2010; MAIA *et al.*, 2018). Essa assistência tem tido um alcance limitado junto ao baixo nível de

capacitação técnica do pequeno produtor, contribuindo para a perpetuação de práticas não sustentáveis na atividade agrícola (ANDRIEU; NOGUEIRA, 2010). Os pequenos produtores carecem de uma maior intervenção técnica, a fim de melhorar a produtividade da cultura, ou mesmo de auxílio com a alimentação animal balanceada, sob a ótica da convivência no semiárido (BURNEY *et al.*, 2014; MAIA *et al.*, 2018). Desse modo, o enfoque em tecnologias sociais tem o potencial de fomentar a convivência com o semiárido em uma perspectiva multidimensional, sustentável e tecnológica, ao mesmo tempo que abrange questões atuais e tendências futuras, como a migração de jovens para as cidades e o envelhecimento da população rural (LINDOSO *et al.*, 2018).

3.2 Tecnologias

O desenvolvimento do agronegócio brasileiro trouxe grandes transformações e avanços na estrutura produtiva e tecnológica, promovendo um processo de inovação em parte do país (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2020; SANTOS *et al.*, 2017), a exemplo das novas áreas de expansão agrícola que vêm se constituindo nos últimos 15 anos, em parte dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e da Bahia (MATOPIBA), região essa localizada ao longo do cerrado nordestino e em todo o estado tocaninense (SILVA *et al.*, 2019). Essas áreas tornaram-se rentáveis na produção extensiva/mecanizada de grãos – milho, soja, algodão e sorgo, mesmo sob condições naturais adversas (SANTOS *et al.*, 2017) –, algo que se correlaciona com a “entrada de empresas agrícolas, agroindustriais, tecnológicas, agroquímicas, atacadistas, varejistas e financeiras em áreas anteriormente desconectadas da dinâmica agrícola nacional” (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2020, p. 526).

A Região Integrada de Desenvolvimento (RIDE) do Vale do São Francisco é uma representação dessa dinâmica, a qual se sedimentou numa rede de produção em que as cidades passam a apoiar as atividades do meio agrícola (CARNEIRO *et al.*, 2019; FERREIRA *et al.*, 2020). A RIDE contribuiu para a formação e formulação de estratégias competitivas diferenciadas de inovação na cadeia de produção da fruticultura irrigada nas cidades de Casa Nova, BA; Curaçá, BA; Juazeiro, BA; Lagoa Grande, PE; Orocó, PE; Petrolina, PE; Santa Maria da Boa Vista, PE; e Sobradinho, BA (SANTOS *et al.*, 2017). Os aglomerados do Vale do São Francisco emergiram como o mais importante polo frutícola brasileiro – uva, manga, banana, melão, melancia e goiaba, sendo, por exemplo, a maior produtora de manga, ao representar mais de oitenta por cento do total da fruta exportada pelo Brasil (CARNEIRO *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2020a).

Contudo, a viabilização do cultivo em larga escala dessas culturas na RIDE foi fundamentada pela implementação de modernos sistemas de transporte de águas do rio São Francisco até as áreas dos pomares e das lavouras (COTRIM *et al.*, 2011; OLIVEIRA; RODRIGUES, 2020). Já no Vale do Açu, outra importante área fruticultora do nordeste, foi implementada após a construção da barragem no Rio Piranhas-Assu, entre os municípios de Assu, Itajá e São Rafael, no Rio Grande do Norte (RN) e, conseqüentemente, o transporte de águas aos pomares de frutas tropicais (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2020; SILVA *et al.*, 2019). Algo semelhante aconteceu também com a construção do Açude Castanhão, na microrregião do Baixo Jaguaribe, referência cearense na produção de frutas (FOLHES; RENNÓ; SOARES, 2009). Como já foi dito, na Caatinga, a água é um recurso estratégico fundamental também para o desenvolvimento da atividade agrícola em larga escala (FOLHES; RENNÓ; SOARES, 2009; SANTOS *et al.*, 2020b), de modo que a gestão eficiente passa pelas perspectivas do uso racional dos recursos hídricos para garantir o melhor rendimento

com o mínimo volume de água (CARNEIRO *et al.*, 2019; SANTOS; MOREIRA; RODRIGUES, 2013), pois o excesso de bombeamento de água tem reduzido o ganho econômico dos produtores, por exemplo, com o aumento dos custos de energia elétrica para bombear água do reservatório (COTRIM *et al.*, 2011; FOLHES; RENNÓ; SOARES, 2009).

No bioma, o desenvolvimento de técnicas eficientes de irrigação é uma realidade presente no plantio de frutas, a exemplo da irrigação por gotejamento nas culturas: uva, mamão, manga, melão, melancia, caju, coco e abacaxi (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2020). A irrigação por gotejamento usa sistemas de transporte de água das fontes por tubos, válvulas e pequenos gotejadores; a tecnologia é usada para irrigar as áreas da raiz das plantas de forma direcionada, aplicando-a sob especificação determinada de quantidade (REDDY, 2015; TEIXEIRA; BASTIAANSSEN, 2012). A secagem parcial de zona radicular é outra técnica de irrigação com foco em parte da zona radicular – lado irrigado, ao alterar o lado úmido e seco, isso maximiza a eficiência do uso de água e reduz a pegada hídrica da cultura sem comprometer a fotossíntese, o crescimento e a produção da planta; essa tecnologia é comumente utilizada na produção de frutas precoces, como o mamão, nos estados da BA, CE e RN (SANTOS *et al.*, 2020b). O mamão apresenta as fases de crescimento, floração e maturação dos frutos em um curto período, a partir do terceiro mês após o plantio (SANTOS *et al.*, 2020b).

Outro exemplo é a irrigação deficitária, que consiste na aplicação de água abaixo das necessidades da evapotranspiração máxima, induzindo a planta a extrair água do solo para compensar o *deficit* hídrico (COTRIM *et al.*, 2011; FERERES; SORIANO, 2006). Essa prática pode ser utilizada com maior facilidade no período chuvoso, quando a irrigação junto à precipitação supera a demanda de água da cultura (FOLHES; RENNÓ; SOARES, 2009). Para Santos, Moreira e Rodrigues (2013), é possível reduzir o consumo de água em vinícolas do semiárido brasileiro, sem que isso afete o metabolismo da uva – algo que também se aplica à produção de manga, sem que haja perda da qualidade dos frutos e da produtividade do pomar a partir da aplicação controlada da irrigação deficitária (COTRIM *et al.*, 2011). Na cultura do feijão-comum, melão e pimentão, a irrigação deficitária junto ao plantio direto tem proporcionado um maior rendimento e acúmulo de biomassa do que no plantio convencional (FREITAS *et al.*, 2019). Por outro lado, a depender da cultura, a redução da aplicação de água pode afetar negativamente a disponibilidade hídrica no solo das plantas (SANTOS *et al.*, 2020b). Como é o caso da cultura do feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.], produzido no semiárido; nele, a irrigação deficitária afeta negativamente o rendimento de grãos e o acúmulo de biomassa (FREITAS *et al.*, 2019). Já na cultura do mamão papaya (*Carica papaya* L.), o uso desse tipo de irrigação afeta o crescimento do fruto e a troca gasosa da folha (SANTOS *et al.*, 2020b). Portanto, mesmo que o uso racional do recurso hídrico seja necessário em regiões semiáridas, compreender as técnicas utilizadas para esse fim ainda é um gargalo do conhecimento (SANTOS; MOREIRA; RODRIGUES, 2013).

Efetivamente, o conhecimento da variabilidade espacial das propriedades físicas e hidráulicas do solo tem possibilitado melhoras no manejo da irrigação (OLDONI; BASSOI, 2016), similarmente ao conhecimento da evapotranspiração da cultura, um componente efetivo no planejamento da irrigação e no equilíbrio hídrico do solo (REIS *et al.*, 2019; VENANCIO *et al.*, 2020). De modo simples, a evapotranspiração representa a água que é vaporizada e que não fica mais disponível para o usuário, sendo parte importante no fluxo total de água próxima à superfície do solo (LAFAYETTE *et al.*, 2019; TEIXEIRA; BASTIAANSSEN; BASSOI, 2007). A condutividade elétrica aparente do solo também tem sido utilizada como parâmetro de delineamento de zonas

de manejo, indicando variações sazonais com base na mudança substancial de água no solo (OLDONI; BASSOI, 2016). Para identificar esses fatores, a tecnologia da Câmara Portátil tem sido usada em alguns experimentos e alguns testes em fazendas modelos, com o objetivo de medir diretamente a evaporação/evapotranspiração, sendo a Câmara Portátil responsável por medir em tempo real e em curto intervalo de tempo a perda de água do solo (LAFAYETTE *et al.*, 2019).

Outra ferramenta é o Mapeamento da Evapotranspiração em Alta Resolução e Calibração Internalizada (*Mapping Evapotranspiration at High Resolution and with Internalized Calibration* [METRIC]); nele, ocorre o processamento de imagens para mapear a evapotranspiração, assim como para combinar sensoriamento remoto de média resolução e dados de medição hídrica de irrigação para estimar e melhorar a gestão de água total nas lavouras semiáridas (FERREIRA *et al.*, 2020; FOLHES; RENNÓ; SOARES, 2009), algo parecido com o que é feito pelo Algoritmo Simples para Recuperação de Evapotranspiração (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving* [SAFER]), em que o cálculo é feito usando bandas visíveis, infravermelho próximo e infravermelho térmico em conjunto de dados de evapotranspiração de referência a ser estimado com dados de estações meteorológicas para calcular a evapotranspiração total em plantações nas quais se utiliza a irrigação de precisão, como é o caso do milho irrigado em áreas baianas (VENANCIO *et al.*, 2020).

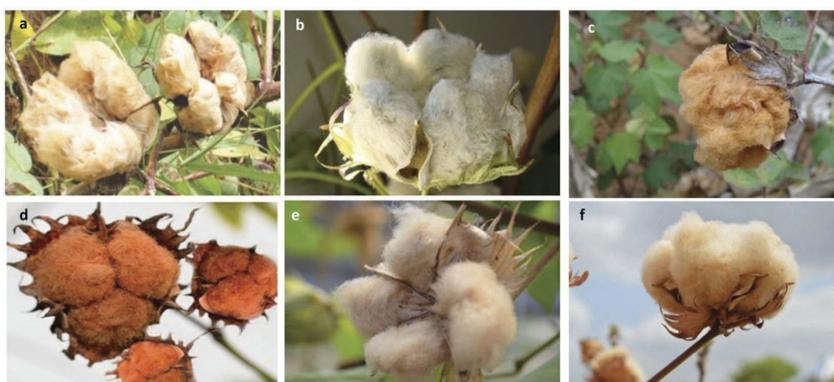
A utilização de geoprocessamento também tem possibilitado o monitoramento da umidade do solo a partir do balanço energético e, conseqüentemente, auxilia no manejo voltado para fins de conservação da água, produtividade das lavouras, monitoramento dos processos do solo, gestão de águas subterrâneas e controle da salinização do solo (REIS *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2020b). Já para Pessoa *et al.* (2016), o uso de sensoriamento remoto oferece o mapeamento da dinâmica temporal como as tendências futuras da cobertura do solo e os processos antrópicos e ambientais visando ao planejamento de uso de terras e de recursos naturais. O sensoriamento remoto pode ainda mostrar os padrões de mudança do uso do solo, das condições ambientais e da extensão dos solos degradados (SILVA *et al.*, 2020b). Assim, o uso de uma dessas tecnologias tem sido positivo, principalmente, durante os meses de maior *deficit* hídrico – setembro a novembro (correspondendo à metade da evaporação total anual); neste período, a vegetação fica sob forte estresse hídrico pela evapotranspiração contínua e sem a entrada de água (FOLHES; RENNÓ; SOARES, 2009; LAFAYETTE *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2020c). O estresse hídrico, por exemplo, altera o metabolismo primário e secundário das videiras nordestinas, além de reduzir a qualidade/produtividade dos frutos, gerando alterações nos atributos do vinho (SANTOS; MOREIRA; RODRIGUES, 2013). Ademais, conhecer e monitorar os fatores ambientais tem possibilitado o uso mais eficiente dos recursos hídricos, ao passo que se aprimoram as práticas agrônômicas visando melhorar a produtividade e a maior produção nas propriedades agrícolas (GUIMARÃES *et al.*, 2018).

No Vale do São Francisco, as culturas tiveram um alto grau de investimentos que culminaram com culturas bastante tecnificadas, com destaque para a manga: Tommy Atkins, Kent, Keitt, Palmer e Haden (CARNEIRO *et al.*, 2019; COTRIM *et al.*, 2011; HAJI *et al.*, 2004). Tecnologias essas, como os reguladores de crescimento, que permitiram a indução floral em diferentes períodos, gerando a produção contínua da manga ao longo de todo o ano (CARNEIRO *et al.*, 2019). Já a uva é uma cultura produzida com uso de modernas tecnologias de produção, que vão desde a escolha da variedade (cultivares com ou sem sementes), melhoramento dos cultivares (Itália, Piratininga, *Red Globe*, *Itália Muscat*, *Benitaka*, *Sugraone*, *Thompson Seedless* e *Crimson Seedless*), passando pelos sistemas de produção (uma e duas colheitas por ano), ao manejo (reguladores

de crescimento: ácido giberélico – AG3 e proteção dos cachos) (SANTOS; MOREIRA; RODRIGUES, 2013). Isso gera um maior valor agregado na exportação e disponibilidade da fruta no mercado internacional, durante o período de entressafra dos maiores produtores mundiais (SANTOS; MOREIRA; RODRIGUES, 2013).

No caso do algodão naturalmente colorido, nativo de clima semiárido, a tecnologia empregada para alavancar a cultura tem sido o melhoramento genético via a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Essa tecnologia contribuiu para o crescimento das lavouras, assim como para a queda expressiva de custos de produção, ciclo de três anos tolerante à seca e a pragas, com alto rendimento e boa qualidade de fios (QUEIROZ *et al.*, 2012), ver Figura 4. Como resultado, mais cores de fibra: marrom, verde, rubi, safira, topázio e jade, processadas em pequenas indústrias de confecção na Paraíba, com exportação para mais de dez países (BARROS *et al.*, 2020).

Figura 4 – Core3s das fibras de cultivares brasileiras de algodão naturalmente colorido



Legenda: (a) BRS 200 Marrom registrada em 2001; (b) BRS Verde, (c) BRS Rubi e (d) BRS Safira registrados em 2004; (e) BRS Topázio e (f) BRS Jade registradas em 2017.

Fonte: Barros *et al.* (2020, p. 9).

O melhoramento do caju (*A. occidentale* L.) solucionou o caso da altura e produtividade da planta, a baixa estatura ajuda no manejo do pomar: poda, controle de pragas e colheita, gerando aumento substancial na produção de castanhas no CE, PI e RN (QUEIROZ *et al.*, 2012). O melhoramento da cebola gerou cultivares mais adaptados e com resistência aos estresses bióticos regionais, resultando na substituição das antigas sementes pelas variedades produzidas pelo IPA; atualmente, cerca de noventa por cento de todas as plantações no semiárido são das variantes do IPA (QUEIROZ *et al.*, 2012). Já o tomate híbrido é resistente aos principais estresses bióticos (galhas de nematoides, doenças foliares, tospovírus e geminivírus), além de apresentar um melhor rendimento pelas boas características das plantas e dos frutos (QUEIROZ *et al.*, 2012), algo que aconteceu também com a palma-forrageira (*Opuntia ficus indica*, Mill.), por meio da introdução de lavouras mais resistentes ao carmin cochonilha, principal praga da palma-forrageira. Essa ação, junto à produção agrícola e ao aumento do rebanho bovino, impulsionou o crescimento da agropecuária na região (SILVA *et al.*, 2020c), já que essa planta é uma fonte energética usada na alimentação e nutrição de ruminantes, sendo diretamente associada à produção do leite de vaca, cabra e ovelha, em períodos de escassez ou baixa disponibilidade de alimentos (GUIMARÃES *et al.*, 2018).

A produção de mandioca também sofreu modificações, com o desenvolvimento de cultivares tolerantes ao *deficit* hídrico intenso, com destaques para BRS 396 – “Engana-Ladrão”, BRS 397 – “Sacaí”, BRS 398 – “Crioula”, BRS 399 – “Amansa-Burro” (VISSÉS; SENTELHAS; PEREIRA, 2018). As regiões norte e nordeste são responsáveis por mais da metade da produção (57,7%) de mandioca no país, a qual é desenvolvida por pequenos agricultores familiares e consumida em ampla maioria na forma de farinha, um dos principais alimentos das famílias pobres dessas regiões (BURNEY *et al.*, 2014). Paralelamente à mandioca, o feijão-caupi é outra cultura de grande importância para os sistemas agrícolas nordestinos, principalmente para a agricultura familiar no semiárido (MARINHO *et al.*, 2017). O feijão-caupi tem boa capacidade de resistir a períodos secos, ao conter o seu desenvolvimento e retornar com o aparecimento das chuvas (FREITAS *et al.*, 2019). O incremento de genótipos de novas plantas, como o BRS Pujante, possibilitou uma maior produção e um alto teor de proteína nos grãos, associado, em alguns locais, à inoculação de rizóbio (MARINHO *et al.*, 2017). “Rizóbio é um grupo de bactérias fixadoras de nitrogênio capaz de estabelecer associações de raízes e/ou caules com leguminosas” (MARINHO *et al.*, 2017, p. 274). Na agricultura, a cooptação é explorada pela aplicação de produtos biotecnológicos contendo bactérias selecionadas que aumentam a produtividade da cultura (FREITAS *et al.*, 2019). A inoculação de rizóbio no Vale do São Francisco se utiliza da cepa BR 3267 (*Bradyrhizobium yuanmingense*) – principal bactéria usada em inoculantes de feijão-caupi no Brasil (MARINHO *et al.*, 2017). Ao contrário do plantio convencional, o plantio direto também contribuiu para promover um maior rendimento de grão e eficiência no uso de água em turnos de rega de 10 ou 14 dias, pois melhora infiltração e conservação da água no solo (FREITAS *et al.*, 2019).

Portanto, os desafios futuros desses programas tendem a ser o fortalecimento dos atuais estudos, como o desenvolvimento de clones biológicos resistentes aos estresses bióticos no caso do caju, ou mesmo uma maior variação de cor da lã de algodão naturalmente colorido (QUEIROZ *et al.*, 2012). Cabe destacar a necessidade de continuidade dos programas de melhoramento como elemento-chave, por exemplo: mais de cinquenta anos no caso do caju; mais de quarenta para a cebola, tomate e o algodão (BARROS *et al.*, 2020; QUEIROZ *et al.*, 2012). Por outro lado, há a necessidade de esforços adicionais no seguimento de *marketing*, a fim de impulsionar a notoriedade do produto perante o mercado (BARROS *et al.*, 2020), assim como impulsionar ainda mais a implementação de tecnologias voltadas para o desenvolvimento de alternativas produtivas diante do impacto potencial das mudanças climáticas na produção agrícola na Caatinga (BURNEY *et al.*, 2014; MAIA *et al.*, 2018).

3.3 Discussões

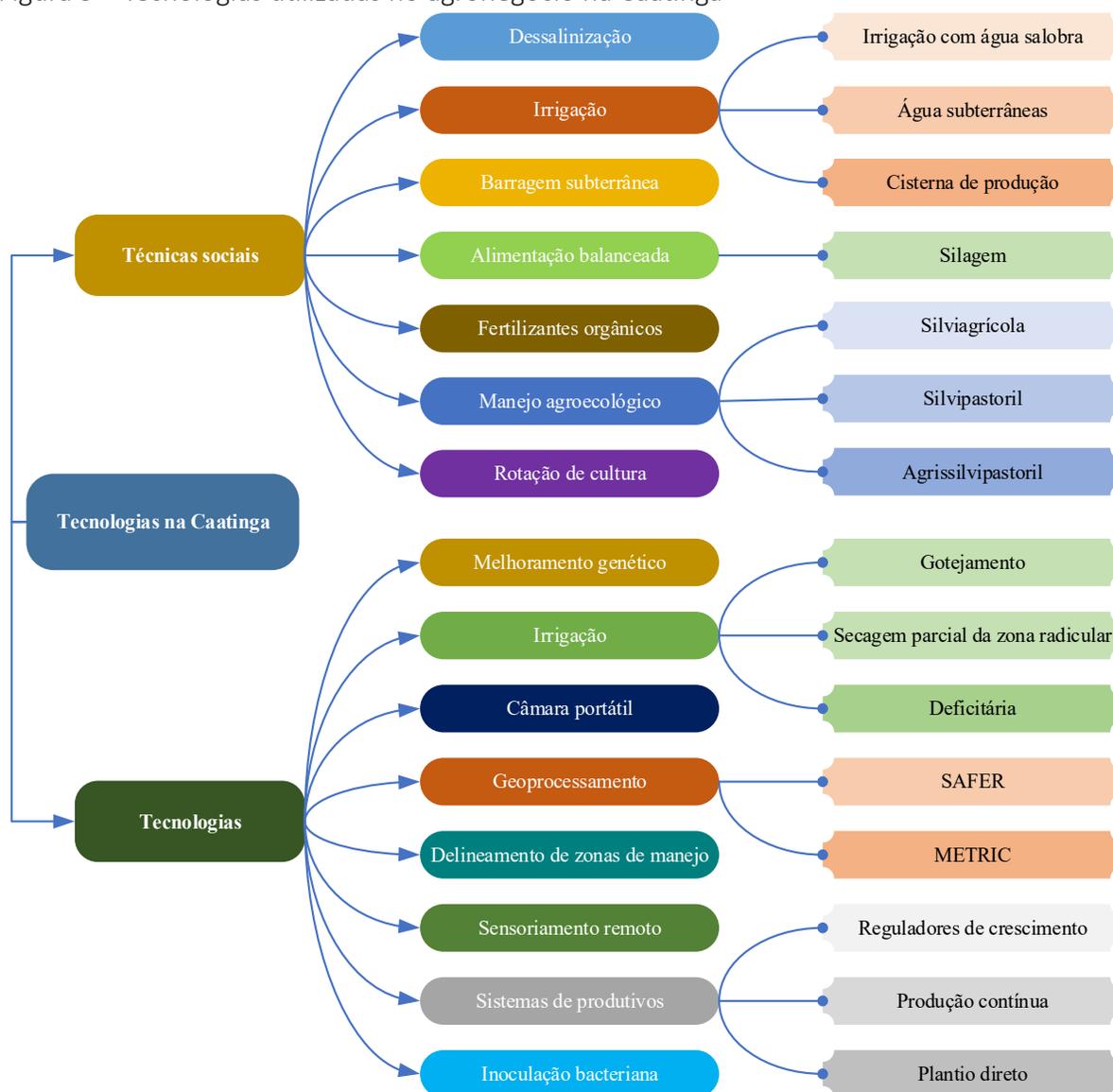
Indubitavelmente, o aumento da agricultura irrigada na Caatinga, nos últimos anos, gerou implicações socioeconômicas positivas, como a multiplicação nas exportações de frutas e geração de empregos ao converter áreas marginais semiáridas em locais de grande desenvolvimento agrícola (HAJI *et al.*, 2004; TEIXEIRA; BASTIAANSEN, 2012; TEIXEIRA; BASTIAANSEN; BASSOI, 2007). No entanto, essas atividades intensificaram os conflitos relacionados ao uso da água no bioma (FERREIRA *et al.*, 2020; FOLHES; RENNÓ; SOARES, 2009). Em alguns locais, o manejo de água de irrigação não tem obedecido aos critérios técnicos, deixando na dúvida se a quantidade de água usada atualmente nas plantações tem sido adequada ou não (COTRIM *et al.*, 2011). Nesses locais irrigados, ainda não há uma tecnologia sofisticada de monitoramento que permita

conhecer de forma regular o volume de água dos rios utilizado nas plantações (FOLHES; RENNÓ; SOARES, 2009).

No bioma, a falta de planejamento e de gestão dos recursos hídricos dos rios pode comprometer as demandas futuras de água e aumentar a vulnerabilidade local (ANDRADE *et al.*, 2019a). Assim, o uso racional do recurso hídrico é uma necessidade crescente em regiões semiáridas (SANTOS; MOREIRA; RODRIGUES, 2013). Entretanto, as alternativas já implantadas, como a irrigação deficitária, zona radicular e irrigação por gotejamento, têm tido êxito no controle hídrico (BURNNEY *et al.*, 2014; FREITAS *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2020b), de maneira que a produção de manga na RIDE já está abaixo do recomendado – o volume real de água aplicado não pode mais ser reduzido (CARNEIRO *et al.*, 2019). Nesse caso, a perspectiva é aprimorar as técnicas de cultivo para garantir a sustentabilidade e reduzir os custos de produção (SILVA *et al.*, 2020a).

Por outro lado, em razão dos recorrentes períodos de estiagem – último ocorrido entre os anos de 2012 e 2017 –, essa economia hídrica é reduzida ao utilizar a irrigação suplementar para conter a queda na produtividade das plantações e o aumento da evapotranspiração da cultura (LINDOSO *et al.*, 2018). Por conseguinte, diretrizes políticas como controle e cobrança da água de irrigação mais eficientes são cada vez mais necessárias, em vista da competição de múltiplos usuários entre setores (FOLHES; RENNÓ; SOARES, 2009). Já o monitoramento operacional exige ferramentas que auxiliem no estudo da dinâmica temporal e das tendências futuras de cobertura do solo em bacias hidrográficas; e a ampliação do uso do sensoriamento remoto na Caatinga tende a contribuir para um maior planejamento de terras e recursos naturais (SILVA *et al.*, 2020c). Outrossim, o desenvolvimento de planos eficazes de manejo das terras semiáridas brasileiras depende de um melhor entendimento e monitoramento dos solos salinos, fator responsável pela degradação do solo em terras secas irrigadas (PESSOA *et al.*, 2016), assim como é necessária a geração de tecnologias que viabilizem o aproveitamento de águas salinas no desenvolvimento agrícola (LIMA *et al.*, 2019). Nisso, o acesso a outras fontes da matriz energética, como eólica e solar, devem facilitar o uso de tecnologias de dessalinização de menor custo (ALBIERO *et al.*, 2014; CAVALCANTE JÚNIOR *et al.*, 2019; SILVA; SHARQAWY, 2020). Há de se considerar o aprimoramento de tecnologias e técnicas sociais (ver Figura 5), visando à difusão delas em locais pouco assistidos tecnicamente.

Figura 5 – Tecnologias utilizadas no agronegócio na Caatinga



Fonte: Pesquisa direta (2021).

Destarte, a busca por alternativas passa por avanços científicos e tecnológicos de desenvolvimento de plantas com resistência aos principais estresses climáticos e biológicos, como também melhorias na produtividade da cultura e qualidade da matéria-prima, das sementes, dos frutos e dos pseudofrutos (FOLHES; RENNÓ; SOARES, 2009; QUEIROZ *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2020b). No entanto, esses estudos necessitam de tempo para gerar resultados expressivos, como o melhoramento do feijão-comum, do algodão, do caju ou da uva. A continuidade desses programas com mais de três décadas tem proporcionado resultados, como no algodão, com a colheita de fibras mais fortes e de maior valor agregado (QUEIROZ *et al.*, 2012). A cadeia produtiva do algodão naturalmente colorido tem se tornado importante para a economia paraibana, com o fortalecimento da indústria têxtil e geração de emprego (QUEIROZ *et al.*, 2012). Outrossim, o melhoramento genético contribuiu para o aumento da população de animais na pecuária, fato pouco citado nos artigos, mas que teve influência na indústria de pecuária leiteira e de frangos (ANDRADE, C. *et al.*, 2019; CARVALHO *et al.*, 2019). Nisso, as instituições de pesquisa

como a EMBRAPA, os institutos agronômicos estaduais e as universidades têm fomentado o desenvolvimento de produtos geneticamente modificados por meio de pesquisas contextuais para o semiárido (BURNEY *et al.*, 2014).

Outro ponto a se destacar é o fortalecimento das ATERs nos estados – que na maioria dos estados do Nordeste se encontram desmanteladas (SILVA *et al.*, 2019), pois são elas as responsáveis principais no auxílio dos produtores na profissionalização das atividades (ANDRIEU; NOGUEIRA, 2010). Alguns relatos citam a compra de rações enriquecidas buscando aumentar a produtividade de leite, mas, em decorrência da falta de informação/assistência técnica, acabam por fornecer até 300% mais de proteínas do que as necessidades do animal, algo que coexiste, muitas vezes, com uma receita agrícola menor perante a produtividade leiteira baixa (BURNEY *et al.*, 2014; CARVALHO *et al.*, 2019). A assistência técnica tende também a contribuir para a modernização tecnológica, com foco na superação de gargalos competitivos da agropecuária (SILVA *et al.*, 2019). Mesmo que a falta de tecnificação não seja o único empecilho na atividade, o maior conhecimento e controle de qualidade na pecuária leiteira ou mesmo o melhor aproveitamento da área total da propriedade para a pecuária de corte também são problemas a serem sanados (VASCONCELOS *et al.*, 2018). Na produção animal, há ainda a necessidade de alinhamento às estratégias de convivência com o semiárido, já que ocorre de forma paralela à exploração da agricultura sequeira (SILVA *et al.*, 2020c).

A necessidade fundamentada no conhecimento reflete uma demanda local por uma agenda de pesquisa e produção, em diversos setores agrícolas, para a inserção da temática da inovação (SANTOS *et al.*, 2017). Os fatores como eficiência, qualidade ambiental, conservação, qualidade do produto, capital social e o bem-estar e a saúde animal refletem exemplos de carências para o uso de ferramentas técnicas e tecnológicas (BARRETO *et al.*, 2010), assim como para suprir o *deficit* em demanda de mão de obra de prestadores de serviços agrícolas ou para reparar a deficiência na infraestrutura local e a dificuldade no acesso a mercados (BURNEY *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2019).

O desenvolvimento de políticas públicas específicas para o setor no bioma faz-se necessário, tendo em vista o fortalecimento de vantagens comparativas perante outras regiões produtivas, como o MATOPIBA. A região produtora de milho, soja, algodão e sorgo no Cerrado se tornou rentável mesmo sobre condições naturais adversas, mas que contam com prerrogativa de serem *commodities* – preços no mercado externo mais atrativos que o das frutas (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2020). Seguindo essa perspectiva, um sistema de crédito bancário voltado exclusivamente para financiar a implementação de medidas adaptativas e assistência técnica tende a proporcionar ações eficazes ao desenvolvimento sustentável no bioma (MAIA *et al.*, 2018), pois, mesmo havendo o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), este causou impactos positivos em áreas mais desenvolvidas e eficácia questionável em áreas menos desenvolvidas (MAIA *et al.*, 2018), ao passo que o fortalecimento de instituições como as cooperativas – pouco difundidas na região – e as agroindústrias propende a valorização da produção agrícola familiar (LINDOSO *et al.*, 2018; OLIVEIRA; RODRIGUES, 2020). Por exemplo, por meio de estratégias de sucesso como a promoção de produtos por indicação geográfica e/ou por rastreabilidade de origem (FERNANDES *et al.*, 2020; GUIMARÃES *et al.*, 2018).

5 CONCLUSÃO

Neste artigo, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, com o objetivo de fazer um levantamento sobre as tecnologias utilizadas no meio agrícola, na área do bioma Caatinga, região de clima semiárido brasileira. Nela, foram identificadas as técnicas sociais ou técnicas de convívio com o semiárido e as tecnologias propriamente ditas. As técnicas sociais ajudam os pequenos produtores, grupos mais vulneráveis, a conviverem melhor no semiárido ao seguirem medidas de resiliência para superar os impactos da baixa precipitação pluviométrica (BURNEY *et al.*, 2014; MAIA *et al.*, 2018). Já as tecnologias têm contribuído para o aumento da produção de frutas irrigadas, tornando a região semiárida o principal polo frutícola brasileiro, ao transformar áreas marginais em locais de grande desenvolvimento agrícola, capazes de fornecerem frutas ao mercado internacional no período de entressafra dos maiores produtores mundiais (SANTOS *et al.*, 2017; SANTOS; MOREIRA; RODRIGUES, 2013; SILVA *et al.*, 2020a).

Os modelos climáticos atuais mostram um grande impacto potencial das mudanças climáticas futuras na hidrologia no bioma, afetando os fluxos dos rios, o armazenamento de água, a desertificação do solo e, conseqüentemente, a produção agrícola (BURNEY *et al.*, 2014; LINDOSO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2020c). Assim, produzir alimentos e produtos derivados de alta qualidade passa pela utilização de tecnologias, insumos e mecanismos apropriados, capazes de minimizar os custos e o uso de recursos naturais. Neste sentido, o desenvolvimento de tecnologias adaptadas ao semiárido tem tido um papel importante no manejo do solo, aproveitamento da água da chuva e preparo de ração animal. Já em relação às tecnologias utilizadas, principalmente, nas frutas irrigadas, elas se tornaram fator dominante para a viabilidade da produtividade, diversificação, tempo de colheita e logística, ao serenar limitações naturais como clima, relevo e pluviometria na Caatinga. Outrossim, o melhoramento genético contribuiu para a propagação de culturas resistentes na agricultura e para o aumento de populações de animais na pecuária. A utilização de equipamentos de irrigação (gotejamento, aspersão etc.) ainda representa um processo importante na pegada de carbono, ao atenuar o impacto nas mudanças climáticas (CARNEIRO *et al.*, 2019), mas precisa ser aprimorada para melhorar os resultados.

As práticas agrícolas têm sido modificadas nas últimas décadas, com o desenvolvimento de novas tecnologias capazes de impulsionar a produção de alimentos, mesmo na Caatinga. Com base nas descobertas deste artigo, a atividade agrícola na Caatinga ainda se encontra nos estágios de desenvolvimento da segunda e terceira revoluções agrícolas. Isso levando em consideração a baixa quantidade de estudos disponíveis sobre o uso de tecnologias no meio agrícola na Caatinga. Porém, as crescentes preocupações do público com o consumo de alimentos baseados numa interação dinâmica humano-natureza podem impulsionar as tendências para o uso de tecnologias inteligentes. A aplicação dessas não necessita estar estritamente associada à produção primária, mas em toda a cadeia de abastecimento. Assim, as tratativas para a utilização de tecnologias inteligentes e inteligência artificial, quarta e quinta revolução agrícola, respectivamente, são atraentes; contudo, os desafios técnicos e de gestão certamente precisam ser superados ao se projetarem estratégias para avolumar o uso dessas tecnologias na Caatinga.

AGRADECIMENTO

O presente estudo foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ALBIERO, D.; DAHER, S.; MONTEIRO, L. A.; CANAFÍSTULA, F. J. F. Wind turbine for family farming in semi-arid areas with technological innovations for low wind speeds. *Revista Ciencia Agronomica*, Fortaleza, v. 45, n. 1, p. 186–96, 2014.
- ANDRADE, C. W. L.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; LIMA, J. R. S.; SRINIVASAN, R.; JONES, C. A. Soil moisture and discharge modeling in a representative watershed in northeastern Brazil using SWAT. *Ecohydrology and Hydrobiology*, [s.l.], v. 19, n. 2, p. 238–51, 2019.
- ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; CHAVES, L. C. G.; LOPES, F. B. Water as capital and its uses in the Caatinga. In: SAILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (Ed.). *Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America*. Berlin: Springer International Publishing, 2017. p. 281–302.
- ANDRADE, F. N.; LOPES, J. B.; BARROS, R. F. M.; LOPES, C. G. R.; SOUSA, H. S. Composição florística e estrutural de uma área de transição entre cerrado e caatinga em assentamento rural no município de Milton Brandão-PI, Brasil. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 47, n. 122, p. 203–15, 30 jun. 2019.
- ANDRIEU, N.; NOGUEIRA, D. M. Modeling biomass flows at the farm level: a discussion support tool for farmers. *Agronomy for Sustainable Development*, Berlin, v. 30, n. 2, p. 505–13, 16 abr. 2010.
- ARAÚJO FILHO, J. A. *Manejo pastoril sustentável da Caatinga*. Recife: Projeto Dom Helder Camara, 2013.
- BARACUHY, J. G. V; FURTADO, D. A.; FRANCISCO, P. R. M. *Tecnologias de convivência com o semiárido Brasileiro*. Campina Grande: EDUFPG, 2017.
- BARRETO, H. F. M.; SOARES, J. P. G.; MORAES, D. A. E. F.; SILVA, A. C. C.; SALMAN, A. K. D. Impactos ambientais do manejo agroecológico da caatinga no Rio Grande do Norte. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 45, n. 10, p. 1073–81, out. 2010.
- BARROS, M. A. L.; SILVA, C. R. C.; LIMA, L. M.; FARIAS, F. J. C.; RAMOS, G. A.; SANTOS, C. A Review on Evolution of Cotton in Brazil: GM, White, and Colored Cultivars. *Journal of Natural Fibers*, [s.l.], v. 19, n. 1, p. 1–13, 17 mar. 2020.
- BRASIL. Serviço Público Federal. Ministério da Integração Nacional. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste Conselho Deliberativo [SUDENE]. *Resolução n. 107/2017*. Estabelece critérios técnicos e científicos para delimitação do Semiárido Brasileiro e procedimentos para revisão de sua abrangência. Brasília, DF: Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste [SUDENE], 2017a.
- BRASIL. Serviço Público Federal. Ministério da Integração Nacional. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste Conselho Deliberativo [SUDENE]. *Resolução n. 115*, de 23 de Novembro de 2017. Aprova a Proposição n. 113/2017, que acrescenta municípios a relação aprovada pela Resolução CONDEL n. 107, e 27 de julho de 2017. Brasília, DF: Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste [SUDENE], 2017b.
- BORBA, M. C.; RAMOS, J. E. S.; RAMBORGER, B. M.; MARQUES, E. O.; MACHADO, J. A. D. Gestão no meio agrícola com o apoio da Inteligência Artificial: uma análise da digitalização da agricultura. *Revista em Agronegocio e Meio Ambiente*, v. 15, n. 3, 2022.
- BURNEY, J.; CESANO, D.; RUSSELL, J.; ROVERE, E. L.; CORRAL, T.; COELHO, N. S.; SANTOS, L. Climate change adaptation strategies for smallholder farmers in the Brazilian Sertão. *Climatic Change*, Berlin, v. 126, n. 1-2, p. 45–59, 22 set. 2014.
- CARNEIRO, J. M.; DIAS, A. F.; BARROS, V. S.; GIONGO, V.; MATSUURA, M. L. S.; FIGUEIRÊDO, M. C. B. Carbon and water footprints of Brazilian mango produced in the semiarid region. *International Journal of Life*

Cycle Assessment, Berlin, v. 24, n. 4, p. 735–52, 2019.

CARVALHO, C. C. S.; SOUZA, A. C.; FERREIRA, H. C.; ROCHA JÚNIOR, V. R.; RUAS, J. R. M.; COSTA, N. D.; GUIMARÃES, C. C. F.; DURÃES, H. F.; GONÇALVES, M. C. M. Using infrared thermography to measure the body surface temperature of crossbred cows and calves in the semi-arid region of Minas Gerais, Brazil. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, Mossoró, v. 7, n. 3, p. 132–36, 2019.

CAVALCANTE JÚNIOR, R.; FREITAS, M. A. V.; SILVA, N. F.; AZEVEDO FILHO, F. R. A. Sustainable groundwater exploitation aiming at the reduction of water vulnerability in the Brazilian Semi-Arid region. *Energies*, Basel, v. 12, n. 5, p. 904, 8 mar. 2019.

COELHO JUNIOR, L. M.; MARTINS, K. L. C.; CARVALHO, M. Carbon footprint associated with firewood consumption in northeast Brazil: an analysis by the IPCC 2013 GWP 100y Criterion. *Waste and Biomass Valorization*, Berlin, v. 10, n. 10, p. 2985–993, 2019.

COELHO JUNIOR, L. M.; MEDEIROS, M. G.; NUNES, A. M. M.; MACIEIRA, M. L. L.; FONSECA, M. B. Avaliação do uso do solo e dos recursos florestais no semiárido do estado da Paraíba. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 72, 2020.

COSTA, A. R. F. C.; MEDEIROS, J. F. Nitrogen, phosphorus and potassium accumulation in watermelon cultivars irrigated with saline water. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 38, n. 3, p. 343–50, 2018.

COSTA, R. B.; ARRUDA, E. J.; OLIVEIRA, L. C. S. Sistemas agrossilvipastoris como alternativa sustentável para a agricultura familiar. *Interações*, Campo Grande, v. 3, n. 5, 2002.

COTRIM, C. E.; COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; RAMOS, M. M.; CECON, P. R. Regulated deficit irrigation and Tommy Atkins mango orchard productivity under microsprinkling in Brazilian semi arid. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 31, n. 6, p. 1052–63, 2011.

DINIZ, G. L.; NOBRE, R. G.; LIMA, G. S.; SOUZA, L. P.; SOARES, L. A. A.; GHEYI, H. R. Phytomass and quality of yellow passion fruit seedlings under salt stress and silicon fertilization. *Comunicata Scientiae*, Bom Jesus, v. 11, [s.p.], 2020.

FARIAS, J. L. S.; ARAÚJO, M. R. A.; LIMA, A. R.; ALVES, F. S. F.; OLIVEIRA, L. S.; SOUZA, H. A. Socioeconomic analysis of smallholder producing goats and sheeps in the semiarid Cearense, Brazil. *Archivos de Zootecnia*, Rabanales, v. 63, n. 241, p. 13–24, 2014.

FERERES, E.; SORIANO, M. A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, Lancaster, v. 58, n. 2, p. 147–59, 6 nov. 2006.

FERNANDES, E. A. N.; SARRIÉS, G. A.; BACCHI, M. A.; MAZOLA, Y. T.; GONZAGA, C. L.; SARRIÉS, S. R. V. Trace elements and machine learning for Brazilian beef traceability. *Food Chemistry*, Amsterdam, v. 333, [s.p.], dec. 2020.

FERREIRA, T. R.; SILVA, B. B.; MOURA, M. S. B.; VERHOEF, A.; NOBREGA, R. L. B. The use of remote sensing for reliable estimation of net radiation and its components: a case study for contrasting land covers in an agricultural hotspot of the Brazilian semiarid region. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 291, [s.p.], sept. 2020.

FOLHES, M. T.; RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. Remote sensing for irrigation water management in the semi-arid Northeast of Brazil. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 96, n. 10, p. 1398–408, 2009.

FREITAS, R. M. O.; DOMBRISKI, J. L. D.; FREITAS, F. C. L.; NOGUEIRA, N. W.; LEITE, T. S.; PRAXEDES, S. C.

Water use of cowpea under deficit irrigation and cultivation systems in semi-arid region. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 23, n. 4, p. 271–76, 2019.

GUIMARÃES, B. V. C. ; DONATO, S. L. R.; AZEVEDO, A. M.; ASPIAZÚ, I.; SILVA JÚNIOR, A. A. Prediction of “Gigante” cactus pear yield by morphological characters and artificial neural networks. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 22, n. 5, p. 315–19, maio 2018.

HAJI, F. N. P.; BARBOSA, P. R. C.; LOPES, A. N.; ALENCAR, M. J. A.; FERREIRA, R. C. F. monitoring mango pests within an integrated production program in Brazil. *Acta Horticulturae*, [s.l.], v. 645, n. 645, p. 163–65, fev. 2004.

HOFFMANN, R.; NEY, M. G. *Estrutura fundiária e propriedade agrícola no Brasil, grandes regiões e unidades da federação*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário [MDA], 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA [IBGE]. *Censo Agropecuário*. Rio de Janeiro: IBGE, 2017a.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO [INSA]; SANTOS, A. P. S.; PEREZ-MARIN, A. M.; FORERO, L. F. U.; MOREIRA, J. M.; MEDEIROS, A. M. L.; CASSIANO, R.; LIMA, S. A.; BEZERRA, H. A.; BEZERRA, B. G.; SILVA, L. L. *O semiárido brasileiro: riquezas, diversidades e saberes*. Campina Grande: INSA; Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2013.

JESUS, K. N.; MENEZES, R. S. C.; ARAUJO FILHO, R. N.; SAMPAIO, E. V. S. B. ; ANTONINO, A. C. D.; PRIMO, D. C. Maize and sunflower yields and soil changes after five years of organic fertilization in the semi-arid region of Paraíba, Brazil. *Arid Land Research and Management*, [s.l.], v. 34, n. 4, p. 460–73, 2020.

LACERDA, C. F.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; COSTA, R. N. T.; SOUSA, G. G.; LIMA, G. S. Strategies for the use of brackish water for crop production in Northeastern Brazil. *In: TALEISNIK, E.; LAVADO, R. S. (Ed.). Saline and alkaline soils in Latin America*. London: Springer International Publishing, 2021. p. 71–99.

LAFAYETTE, F. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; COUTINHO, A. P.; SOARES, W.; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, B. B.; RABELO, A. E. C. G. C. Experimentation and modeling of soil evaporation in underground dam in a semiarid region. *RBRH*, Porto Alegre, v. 24, [s.p.], 2019.

LIBERATI, A.; ALTMAN, D. G.; TETZLAFF, J.; MULROW, C.; GØTZSCHE, P. C.; IOANNIDIS, J. P. A.; CLARKE, M.; DEVEREAUX, P. L.; KLEIJNEN, J.; MOHER, D. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *PLoS medicine*, San Francisco, v. 6, n. 7, [s.p.], 2009.

LIMA, A. O.; DIAS, N. S.; FERREIRA NETO, M.; SANTOS, J. E. J.; REGO, P. R. A.; LIMA-FILHO, F. P. Barragens subterrâneas no semiárido Brasileiro: análise histórica e metodologias de construção. *Irriga*, Botucatu, v. 18, n. 2, p. 200–11, 2013.

LIMA, G. S.; ANDRADE, E. M. G.; KETOUNOU, T. R.; LIMA, V. L. A.; GHEYI, H. R.; SILVA, S. S.; SOARES, L. A. A. Photosynthesis, photochemical efficiency and growth of west indian cherry cultivated with saline waters and nitrogen fertilization. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 35, n. 1, [s.p.], 2019.

LINDOSO, D.; EIRÓ, F.; BURSZTYN, M.; RODRIGUES-FILHO, S.; NASUTI, S. Harvesting water for living with drought: insights from the brazilian human coexistence with semi-aridity approach towards achieving the sustainable development goals. *Sustainability*, Basel, v. 10, n. 3, p. 622, 28 fev. 2018.

MAIA, A. G.; CESANO, D.; MIYAMOTO, B. C. B.; EUSEBIO, G. S.; SILVA, P. A. O. Climate change and farm-level adaptation: the Brazilian Sertão. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, Bingley, v. 10, n. 5, p. 729–51, 2018.

MAPA de Biomas do Brasil: político, didático. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. 1 mapa color., 1190cmX709cm. Escala 1:5.000.

MAPA do Semiárido. político, didático. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. 1 mapa color., 1190cmX709cm. Escala 1:5.000.

MARINHO, R. C. N.; FERREIRA, L. V. M.; SILVA, A. F.; MARTINS, L. M. V.; NÓBREGA, R. S. A.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I. Symbiotic and agronomic efficiency of new cowpea rhizobia from Brazilian semi-arid. *Bragantia*, Campinas, v. 76, n. 2, p. 273–81, 2017.

MASSRUHÁ, S. M. F. LEITE, M. A. A.; OLIVEIRA, S. R. M.; MEIRA, C. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; BOLFE, E. L. *Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas*. Brasília: Embrapa, 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE [MMA]. *Biomas/Caatinga*. Brasília: MMA, 2019. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/biomas/caatinga.html>. Acesso em: 9 set. 2020.

MOURA, M. S. B.; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. L.; SOUZA, L. S. B.; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. *Clima e água de chuva no Semi-Árido*. Potencialidades da água de chuva no Semiárido brasileiro. Petrolina: Embrapa, 2007. p. 37–59.

MUIR, J. P.; SANTOS, M. V. F.; CUNHA, M. V.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; JUNIOR, M. A. L.; SOUZA, R. T. A.; SOUZA, T. Value of endemic legumes for livestock production on Caatinga rangelands. *Revista Brasileira de Ciências*, Recife, v. 14, n. 2, p. 1–12, 2019.

OLDONI, H.; BASSOI, L. H. Delineation of irrigation management zones in a Quartzipsamment of the Brazilian semiarid region. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1283–294, 2016.

OLIVEIRA, T. J. A.; RODRIGUES, W. A difusão do agronegócio nos cerrados do centro norte brasileiro e nas áreas irrigadas da caatinga nordestina. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, Maringá, v. 13, n. 2, p. 525–46, 11 abr. 2020.

PENNINGTON, R. T.; LAVIN, M.; OLIVEIRA-FILHO, A. Woody Plant Diversity, Evolution, and Ecology in the Tropics: Perspectives from Seasonally Dry Tropical Forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, San Mateo, v. 40, n. 1, p. 437–57, dez. 2009.

PEREIRA, M. A. T.; CARMO, R. L. Fruticultura, emprego e migração: o caso da região de Petrolinas-PE e Juazeiro-BA. In: RANDOLPH, R.; SIQUEIRA, H.; OLIVEIRA, A. (Ed.). *Planejamento, políticas e experiências de desenvolvimento regional: problemáticas e desafios*. Rio Branco: Letra Capital, 2014.

PESSOA, L. G. M.; FREIRE, M. B. G. S.; WILCOX, B. P.; GREEN, C. H. M.; ARAÚJO, R. J. T.; ARAÚJO FILHO, J. C. Spectral reflectance characteristics of soils in northeastern Brazil as influenced by salinity levels. *Environmental Monitoring and Assessment*, Berlin, v. 188, n. 11, [s.p.], 2016.

PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. In: *Ecologia e conservação da caatinga*. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, v. 2, 2003. p. 3–74.

QUEIROZ, M. A.; BARROS, L. M.; CARVALHO, L. P.; CANDEIA, J. A.; FERRAZ, E. Plant breeding in the semiarid region of Brazil: examples of success. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, Viçosa, v. 12, [especial], p. 57–66, dez. 2012.

REDDY, P. Climate Change Adaptation. In: REDDY, P. *Climate Resilient Agriculture for Ensuring Food Security*. New Delhi: Springer India, 2015. p. 223–72.

REIS, M. M.; SILVA, A. J.; JUNIORA, J. Z.; SANTOS, L. D. T.; AZEVEDO, A. M.; LOPES, E. M. G. Empirical and learning machine approaches to estimating reference evapotranspiration based on temperature data. *Computers and Electronics in Agriculture*, Amsterdam, v. 165, [s.p.], out. 2019.

ROCHA JÚNIOR, R. L.; SILVA, F. D. S.; COSTA, R. L.; GOMES, H. B.; PINTO, D. D. C.; HERDIES, D. L. Bivariate Assessment of Drought Return Periods and Frequency in Brazilian Northeast Using Joint Distribution by Copula Method. *Geosciences*, Praga, v. 10, n. 4, p. 135, 10 abr. 2020.

SANTOS, A. A. R.; FERREIRA, F. A.; ARAÚJO, J. J.; OLIVEIRA, D. G.; CLEMENTINO, V. D. R. Innovation dynamics: Analysis of mango innovation strategies by ride. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, Maringá, v. 10, p. 91–114, 2017.

SANTOS, C. A.; MARIANO, D. A.; NASCIMENTO, F. C. A.; DANTAS, F. R. C.; OLIVEIRA, G.; SILVA, M. T.; SILVA, L. L.; SILVA, B. B.; BEZERRA, B. G.; SAFA B.; MEDEIROS, S. S.; NEALE, C. M. U. Spatio-temporal patterns of energy exchange and evapotranspiration during an intense drought for drylands in Brazil. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Amsterdam, v. 85, [s.p.], mar. 2020a.

SANTOS, D. L.; COELHO, E. F.; CUNHA, F. F.; DONATO, S. L. R.; BERNADO, W. P.; RODRIGUES, W. P.; CAMPOSTRINI, E. Partial root-zone drying in field-grown papaya: gas exchange, yield, and water use efficiency. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 243, n. 1, [s.p.], jan. 2020b.

SANTOS, C. M. G.; MOREIRA, M. M.; RODRIGUES, J. D. Metabolismo da videira “syrah” no semiárido nordestino sob três estratégias hídricas. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 34, n. 6, p. 3611, 6 dez. 2013.

SANTOS, P. M.; VOLTOLINI, T. V.; CAVALCANTE, A. C. R.; PEZZOPANE, J. R. M.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F.; BETTIOL, G. M.; CRUZ, P. G. Mudanças climáticas globais e a pecuária: cenários futuros para o Semiárido Brasileiro (Global Climatic Changes and Animal Production: Future Scenarios for the Brazilian Tropical Semiarid). *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 4, n. 6, p. 1176, 21 mar. 2012.

SILVA, F. P.; ARAUJO, J. A.; COSTA, E. M.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Eficiência técnica e heterogeneidade tecnológica na agropecuária das regiões semiárida e não semiárida do Nordeste brasileiro. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Brasília, v. 57, n. 3, p. 379–95, set. 2019.

SILVA, G. D. P.; SHARQAWY, M. H. Techno-economic analysis of low impact solar brackish water desalination system in the Brazilian Semiarid region. *Journal of Cleaner Production*, Amsterdam, v. 248, p. 119255, mar. 2020.

SILVA, K. A.; RODRIGUES, M. S.; MOREIRA, F. B. R.; LIRA, A. L. F.; LIMA, A. M. N.; CAVALCANTE, Í. H. L. Soil sampling optimization using spatial analysis in irrigated mango fields under brazilian semi-arid conditions. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 42, n. 5, p. 1–18, 2020a.

SILVA, J. L. B.; MOURA, G. B. A.; SILVA, M. V.; LOPES, P. M. O.; GUEDES, R. V. S.; Silva, Ê. F. F.; ORTIZ, P. F. S.; RODRIGUES, J. A. M. Changes in the water resources, soil use and spatial dynamics of Caatinga vegetation cover over semiarid region of the Brazilian Northeast. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, Amsterdam, v. 20, p. 100372, nov. 2020b.

SILVA, M.; PANDORFI, H.; LOPES, P. M. O.; SILVA, J. L. B. Pilot monitoring of caatinga spatial-temporal dynamics through the action of agriculture and livestock in the brazilian semiarid. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, Amsterdam, v. 19, n. 4, [s.p.], 2020c.

SILVA, L. P.; XAVIER, A. P. C.; SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G. Modeling land cover change based on an artificial neural network for a semiarid river basin in northeastern Brazil. *Global Ecology and Conservation*, Amsterdam, v. 21, [s.p.], mar. 2020d.

SILVA, S. S.; LIMA, G. S.; LIMA, V. L. A.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; FERNANDES, P. D. Application strategies of saline water and nitrogen doses in mini watermelon cultivation. *Comunicata Scientiae*, Bom Jesus, v. 11, p. 3233–233, 2020e.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; BASSOI, L. H. Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in the São Francisco river basin, Brazil. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 94, n. 1–3, p. 31–42, dez. 2007.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASTIAANSEN, W. G. M. Five methods to interpret field measurements of energy fluxes over a micro-sprinkler-irrigated mango orchard. *Irrigation Science*, Berlin, v. 30, n. 1, p. 13–28, 31 jan. 2012.

VASCONCELOS, Â. M.; FARIAS, D. A.; GOMES, T. C. L.; LANDIM, A. V.; FREITAS, R. M.; SILVEIRA, R. M. F.; MARTINS, T. P. Characterize of production systems and milk quality of production units in the semiarid region of Ceará. *Ciência Animal Brasileira*, Goiânia, v. 19, p. 1–13, 8 nov. 2018.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E.; PAREYN, F. G. C. *Ecorregiões propostas para o bioma caatinga*. Seminário de Planejamento Ecorregional da Caatinga. Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, 2002.

VENANCIO, L. P.; MANTOVANI, E. C.; AMARAL, C. H.; NEALE, C. M. U.; FILGUEIRAS, R.; GONÇALVES, I. Z.; CUNHA, F. F. Evapotranspiration mapping of commercial corn fields in Brazil using SAFER algorithm. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 78, n. 4, p. 1–12, 2020.

VILELA, E. F.; CALLEGARO, G. M.; FERNANDES, G. W. *Biomass e agricultura: oportunidades e desafios*. Rio de Janeiro: Vertebte Edições, 2019.

VISSES, F. A.; SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. B. Yield gap of cassava crop as a measure of food security- an example for the main Brazilian producing regions. *Food Security*, São Paulo, v. 10, n. 5, p. 1191–202, 11 out. 2018.

Sobre os autores:

Marcelo da Costa Borba: Doutor em Agronegócios pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Mestre em Administração e Desenvolvimento Rural pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Bacharel em Administração pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Atualmente, é pesquisador no Instituto Nacional do Semiárido (INSA), Campina Grande, Paraíba. **E-mail:** marcelodcborba@gmail.com, **Orcid:** <https://orcid.org/0000-0002-7173-1199>

Josefa Edileide Santos Ramos: Doutora em Agronegócios pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Mestre em Administração e Desenvolvimento Rural pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Bacharel em Administração pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Atualmente, é pesquisadora no Instituto Nacional do Semiárido (INSA), Campina Grande, Paraíba. **E-mail:** edileideramos@gmail.com, **Orcid:** <https://orcid.org/0000-0001-7678-257>

José Eduardo de Melo Barros: Doutor em Administração pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Mestre em Administração e Desenvolvimento Rural pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Bacharel em Administração pela UFPE. Atualmente, é técnico administrativo na UFRPE. **E-mail:** j.eduardo.melo@gmail.com, **Orcid:** <https://orcid.org/0000-0002-3524-0026x>

João Armando Dessimon Machado: Doutor em Economia Agroalimentar pela Universidade de Córdoba (UCO), Espanha. Professor do Departamento de Economia e do Programa de Pós-Graduação em Agronegócios na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). **E-mail:** joao.dessimon@ufrgs.br, **Orcid:** <https://orcid.org/0000-0001-9864-897X>

