



Indicadores de eficiência biológica, habilidade competitiva e benefício econômico de sistemas de produção sustentável de forragem: Uma revisão

Kaique Renan da Silva Salvador¹, José Orlando Nunes da Silva², João Pedro Alves de Souza Santos³, Renan Matheus Cordeiro Leite⁴, Rhaiana Oliveira de Aviz⁵, Agda Raiany Mota dos Santos⁶, Nágila Sabrina Guedes da Silva⁷, Erison Martins Amaral⁸, Maurício Luiz de Mello Vieira Leite⁹, Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim¹⁰, Marcelo José da Silva¹¹, Wagner Martins dos Santos¹², George do Nascimento Araújo Júnior¹³, Cleber Pereira Alves¹⁴, Thieres George Freire da Silva¹⁵

¹ Mestrando em Produção Vegetal da Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n - José Tomé de Souza Ramos, Serra Talhada, PE, Brasil. CEP: 56909-535, kaiquersalvador@outlook.com. ² Mestrando em Produção Vegetal da Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n - José Tomé de Souza Ramos, Serra Talhada, PE, Brasil. CEP: 56909-535, joseorlando.agro@gmail.com. ³ Mestrando em Produção Vegetal da Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n - José Tomé de Souza Ramos, Serra Talhada, PE, Brasil. CEP: 56909-535, peualves02@gmail.com. ⁴ Mestrando em Produção Vegetal da Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n - José Tomé de Souza Ramos, Serra Talhada, PE, Brasil. CEP: 56909-535, agdaraiany8@gmail.com. ⁵ Mestrando em Produção Vegetal da Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n - José Tomé de Souza Ramos, Serra Talhada, PE, Brasil. CEP: 56909-535, rhaianaoliveiradeaviz@gmail.com. ⁶ Mestrando em Produção Vegetal da Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n - José Tomé de Souza Ramos, Serra Talhada, PE, Brasil. CEP: 56909-535, nagilasabrinaguedes@gmail.com. ⁷ Mestrando em Produção Vegetal da Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n - José Tomé de Souza Ramos, Serra Talhada, PE, Brasil. CEP: 56909-535, erison.m.a13@hotmail.com. ⁸ Professor Associado II da Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n - José Tomé de Souza Ramos, Serra Talhada, PE, Brasil. CEP: 56909-535, nopalea21@yahoo.com.br. ⁹ Doutorando em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil. CEP: 52171-900, alexandremrfj@gmail.com. ¹⁰ Doutorando em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil. CEP: 52171-900, marcelosilva145@hotmail.com. ¹¹ Mestrando em Produção Vegetal da Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n - José Tomé de Souza Ramos, Serra Talhada, PE, Brasil. CEP: 56909-535, wagnerms97@gmail.com. ¹² Doutorando em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil. CEP: 52171-900, georgearaujo.agro@gmail.com. ¹³ Doutorando em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil. CEP: 52171-900, cleberp.alves@hotmail.com. ¹⁴ Professor Associado II da Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n - José Tomé de Souza Ramos, Serra Talhada, PE, Brasil. CEP: 56909-535, thieres.silva@ufrpe.br.

Artigo recebido em 25/03/2022 e aceito em 03/10/2022

RESUMO

O cultivo de espécies adaptadas (e.g., palma forrageira, sorgo, milheto, etc.) pode proporcionar maior produtividade de forragem em ambientes áridos e semiáridos. No entanto, devido às limitações hídricas da região é importante a utilização de irrigação, visto que, quando bem manejada possibilita maiores produções e oportuniza a inserção de cultivos mesmo nos períodos de estiagem. Assim, objetivou-se com essa revisão apresentar os principais índices de eficiência biológica, habilidade competitiva e benefício econômico em diferentes espécies e cultivos forrageiros, bem como, a utilização de práticas resilientes que buscam aumentar a eficiência e sustentabilidade da produção de forragem em ambiente semiárido. Foram utilizados artigos científicos em português e inglês dos últimos dez anos, utilizando as plataformas: Google Acadêmico, Scielo, ScienceDirect, Scopus e Web of Science prezando-se a qualidade e atualidade da literatura citada. A utilização de práticas agrícolas resilientes como a irrigação, plantio de espécies adaptadas, cobertura morta e consórcio são de grande importância para as unidades produtivas do Semiárido brasileiro. Assim como a utilização de índices de eficiência biológica, habilidade competitiva e retorno econômico, que são capazes de auxiliar na determinação das melhores configurações de cultivos consorciados, proporcionando maior confiabilidade e lucratividade da cadeia agropecuária de regiões semiáridas.

Palavras-chave: Gliricídia; Leucena; *Nopalea*; *Opuntia*; práticas resilientes.

Indicators of biological efficiency, competitive ability and economic benefit of different forage production systems in the Brazilian Semiarid Region: A review

ABSTRACT

The cultivation of adapted species (e.g., forage cactus, sorghum, millet, etc.) can provide greater forage productivity in arid and semi-arid environments. However, due to water limitations in the region, it is important to use irrigation, when well managed, it allows for greater production and provides opportunities for the insertion of intercropping crops even in dry periods. Thus, this review aimed to survey the main indices of biological efficiency, competitive ability and economic benefit in different forage species and crops, as well as the use of resilient practices that seek to increase the efficiency and sustainability of forage production in an environment semi-arid. Scientific articles in Portuguese and English from the last ten years were used, using the following platforms: Google Academic, Scielo, ScienceDirect, Scopus, and Web of Science, paying attention to the quality and timeliness of the literature cited. The use of resilient agricultural practices such as irrigation, planting of adapted species, straw mulch and intercropping are of great importance for productive units in the Brazilian semi-arid region. As well as the use of indices of biological efficiency, competitive ability and economic return, which are capable of helping to determine the best configurations of intercropping crops, providing greater reliability and profitability of the agricultural chain in semi-arid regions.

Keywords: Glycicide; Leucena; *Nopalea*; *Opuntia*; Resilient practices

* E-mail para correspondência:
kaiquersalvador@outlook.com

Introdução

As constantes mudanças climáticas tem afetado drasticamente todas as partes do mundo, e principalmente regiões com climas áridos e semiáridos, onde os fatores edafoclimáticos (i.e., precipitação pluvial baixa e irregular, altas temperaturas do ar e demanda atmosférica, balanço hídrico negativo, águas com altos teores de sais e solo com baixa fertilidade), exercem impactos diretos para o baixo desempenho produtivo das atividades agropecuárias destas regiões, com isso, ocasionando insegurança alimentar para os rebanhos (Costa et al., 2021; Jardim et al., 2021a; Sabino et al., 2021; An et al., 2022; Guo et al., 2022; Wang et al., 2022).

Todavia, necessita-se da utilização de estratégias que contribuam com o aumento da eficiência da cadeia produtiva de ruminantes, onde, a caprinovinocultura e a bovinocultura leiteira são atividades economicamente importantes e utilizadas pelas famílias rurais das regiões áridas e semiáridas de todo mundo, notadamente do Nordeste brasileiro (Leite et al., 2014; Oliveira et al., 2022; Silveira et al., 2022). Desta maneira, um manejo nutricional que permita a utilização de recursos forrageiros adaptados às condições climáticas locais, associada a técnicas resilientes são de extrema necessidade, pois, permite maiores rendimentos e sustentabilidade dos cultivos (Dubeux Júnior et al., 2021; Jardim et al., 2021b).

Diante do pressuposto, a palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) é uma cactácea adaptada e com alta eficiência na utilização da água, devido, principalmente, ao metabolismo

ácido das crassuláceas (CAM) (Dubeux Júnior et al., 2015; Taiz et al., 2017; Araújo Júnior et al., 2021a; Jardim et al., 2021c). A partir desta condição fisiológica, observa-se uma produção de forragem mesmo com restrição hídrica e assegurando a alimentação dos rebanhos nos

períodos de seca prolongados, além de contribuir com o aporte hídrico proveniente dos seus cladódios com cerca de 90% de água (Leite et al., 2014; Bezerra et al., 2015), também apresenta uma forragem de excelente qualidade, todavia contém baixos teores de fibra e proteína bruta que são essências para a alimentação de ruminantes (Cardoso et al., 2019; Araújo Júnior et al., 2021b).

Corroborando para aumento do aporte forrageiro, a utilização de gramíneas (e.g., sorgo e milheto) e leguminosas (e.g., glicíndia e leucena), às quais são adaptadas as condições semiáridas, tornando-se uma excelente alternativa alimentar como fonte de fibra e proteína, que complementam a cultura da palma (Srinivasarao et al., 2014; Khoury et al., 2015; Salvador et al., 2021; Alemán-Ramirez et al., 2022). As culturas mencionadas podem ser utilizadas em sistemas consorciados, onde na literatura há relatos bem sucedidos do consórcio palma-sorgo (Diniz et al., 2017; Lima et al., 2018a; Jardim et al., 2021d), palma-milheto (Souza et al., 2019), e a associação de palma-milho-feijão ou cultivo de milho e feijão, que são comumente empregados por agricultores familiares. Desta forma, o consórcio busca intensificar a produção por unidade de área e aumentar a disponibilidade de forragem para os

rebanhos e fontes de rendas para o produtor (Alves et al., 2018; Sarker et al., 2020; Jardim et al., 2021d; Jiao et al., 2021; Alves et al., 2022).

Com subsídios de índices de eficiência biológica, habilidade competitiva e benefício econômico, pode-se determinar quais os melhores arranjos de cultivos consorciados e quais espécies são mais adequadas para este sistema, aumentando a eficiência da utilização dos recursos naturais e aumento da produtividade por área (Gitari et al., 2020; Jardim et al., 2021d). No entanto, para mitigar os efeitos do déficit hídrico durante os períodos secos do ano, a utilização estratégica da irrigação pode aumentar o desempenho das plantas e possibilitar maiores ciclos ao longo do ano, contribuindo para uma maior eficiência dos sistemas agropecuários do semiárido, e torna-os mais rentáveis (Queiroz et al., 2016; Lima et al., 2018b; Jiang et al., 2022; Zhang et al., 2022; Silva et al., 2023).

Buscando-se aumentar a eficiência na utilização da água aplicada via irrigação, a adição de cobertura morta sobre o solo permite a persistência da água no solo por mais tempo. Assim, a cultura tem maior desempenho agrônomo e com essa cobertura vegetal agregada ao solo, pode melhorar as condições químicas, físicas e microbiológicas do solo, tornando as condições de cultivos mais propícias para as condições semiáridas (Alves et al., 2018; Jardim et al., 2018; Zhang et al., 2021; Bis et al., 2022; Liu et al., 2022).

Diante disso, a hipótese deste estudo é de que plantas forrageiras adaptadas as condições edafoclimáticas presentes no semiárido, quando associadas com práticas de manejo resilientes são capazes de reduzir as flutuações no aporte forrageiro e possibilitando maior sustentabilidade da atividade agropecuária.

Com isso, objetivou-se nessa revisão apresentar os principais índices de eficiência biológica, habilidade competitiva e benefício econômico em diferentes espécies e cultivos forrageiros, bem como, a utilização de práticas resilientes que buscam aumentar a eficiência e sustentabilidade da produção de forragem em ambiente semiárido.

Metodologia

No presente estudo foram utilizados para confecção desta revisão de literatura artigos provenientes das plataformas de busca, por exemplo,

Web of Science, Scopus, Scielo, Google Acadêmico, e ScienceDirect prezando-se pela qualidade dos materiais em português e inglês de diversas partes do mundo. Além disso, foi buscando a internacionalização das informações por meio de estudos de Ciências Agrárias e áreas afins. Foram utilizadas palavras chaves com o intuito de alcançar as buscas, tais como “Cultivos resilientes”, “*Opuntia*”, “Consórcio”, “Qualidade bromatológica”, “Pecuária”, “Semiárido”, “*Gliricídia*”, “*Leucena*”, “*Moringa*”, “Estresse Hídrico” entre outras, em ambas os idiomas, preconizando-se trabalhos referentes aos últimos 10 anos.

Características do Semiárido brasileiro

As áreas com climas áridos e semiáridos contemplam cerca de 55% das terras do mundo, onde estão inseridos países da América Latina e Caribe, como Brasil, Chile, Argentina e México, com um território de aproximadamente 313 milhões de hectares (Hussain et al., 2018). Tratando-se do Brasil, a dimensão com clima semiárido é de 1,03 milhões de km², distribuídos em 1.189 municípios de nove estados do país (Bahia, Ceará, Alagoas, Minas Gerais, Pernambuco, Paraíba, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe) (Figura 1), sendo considerado o semiárido mais populoso do mundo (~27 milhões de habitantes) (Santos e Farias, 2017; Medeiros et al., 2020; Pinheiro et al., 2021).

A vegetação do Semiárido brasileiro é composta por plantas xerófilas, que possuem peculiaridades morfofisiológicas cativadas durante os constantes processos evolutivos, possibilitando adaptabilidade e continuidade em meios com déficit hídrico e estresse térmico (Ferreira et al., 2020; Marques et al., 2020; Queiroz et al., 2020). O bioma Caatinga é conhecido pela vasta fauna e flora com riqueza de várias espécies endêmicas, no entanto, apenas 1% deste bioma é protegido legalmente, o que pode acarretar perdas constantes da sua biodiversidade ao longo dos anos (Marques et al., 2020).

Além dos danos causados pelos seres humanos, o semiárido apresenta característica climáticas peculiares, como temperaturas do ar elevadas e baixa umidade relativa do ar; irregularidade e baixos eventos de precipitação pluvial (300 a 800 mm ano⁻¹), balanço hídrico negativo na maior parte do ano ocasionado pela alta demanda atmosférica; evapotranspiração potencial

(i.e., temperatura do ar elevadas, déficit hídrico) e bióticos como pragas e doenças, com isso evidenciando melhores tomadas de decisões dentro da propriedade, e tornando os sistemas de produção mais sustentáveis e produtivos (Souza et al., 2019; Jardim et al., 2020a; Salvador et al., 2021).

Espécies adaptadas

Palma forrageira

A utilização da palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) em sistemas de cultivos para alimentação animal tem como origem o México, onde posteriormente veio a se expandir para áreas cultivadas por todo continente americano (Dubeux Júnior et al., 2021). Posteriormente, esta cactácea foi introduzida na Ásia, África, Europa e Oceania, se adaptando muito bem a uma gama de climas, sendo cultivada em regiões áridas e semiáridas de todo o mundo, todavia os gêneros de palma

forrageira *Opuntia* e *Nopalea* consagraram-se como os mais empregados como fonte de forragem para os rebanhos do Semiárido brasileiro (Souza et al., 2019; Alves et al., 2020; Araújo Júnior et al., 2021a).

A habilidade adaptativa destes gêneros de palma forrageira a ambientes extremos, ocorre devido as modificações morfofisiológicas, em especial, a presença do metabolismo ácido das crassuláceas (CAM) (Jardim et al., 2021d). Este mecanismo fotossintético permite a assimilação de CO₂ no período noturno com o auxílio da fosfoenolpiruvato carboxilase, a partir da abertura dos seus estômatos (Figura 2), com isso evitando perdas excessivas de água pela transpiração e mantendo a turgidez celular por mais tempo, e consequentemente persistindo a adversidades em ambientes semiáridos (Garcia et al., 2014; Taiz et al., 2017; Jardim et al., 2021c).

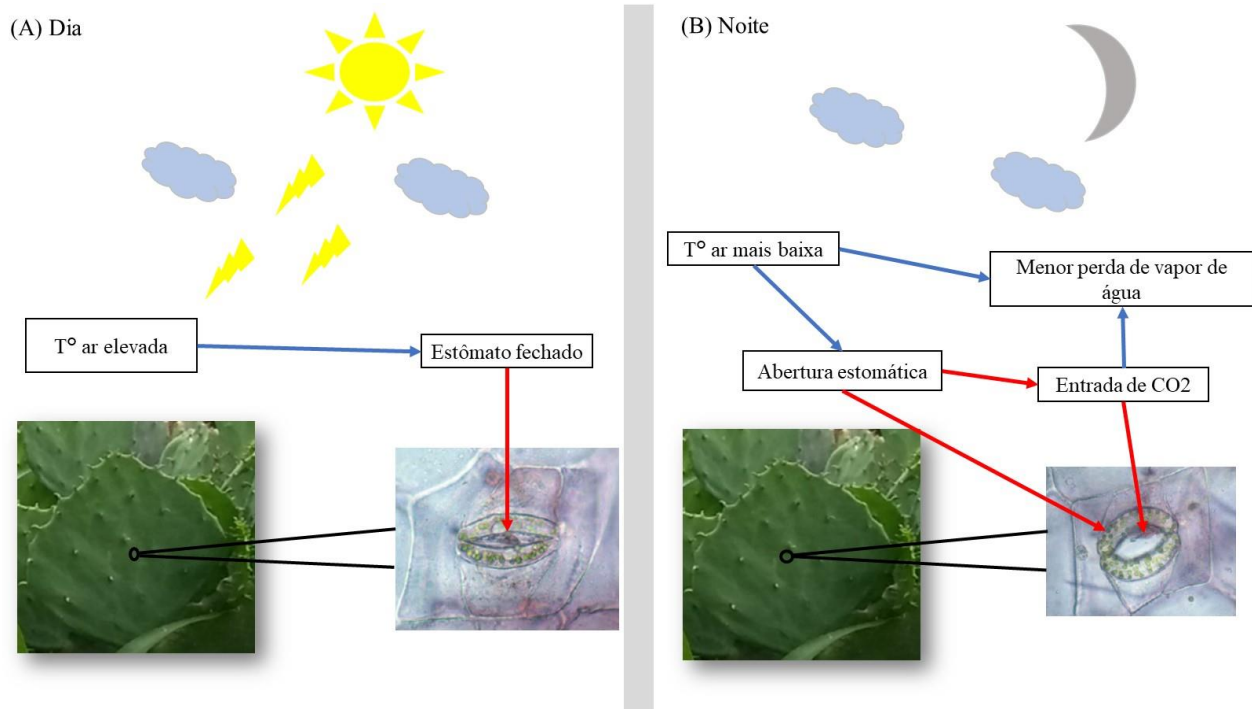


Figura 2. Ilustração da captação de CO₂ da palma forrageira durante o período diurno (A) e noturno (B), sob condições ambientais de campo. Fonte: adaptado de Taiz et al. (2017).

Para além dos meios bioquímicos que a palma utiliza para a captação de CO₂, a mesma contém em seus cladódios arranjos estruturais capazes de restringir a perda de água para atmosfera, visto que há presença de uma cutícula espessa e cerosa, vacúolos avantajados, número reduzido de estômatos e com fendas limitadas. Esta

cactácea também apresenta um sistema radicular com quatro tipos de raízes (e.g., raízes absorventes, estruturais, esporão e aréolas), estas estruturas são de suma importância uma vez que permite a maior exploração dos recursos hídricos presentes no solo, mesmo em baixa quantidade (Dubeux Júnior et al.,

2010; Dubeux Júnior et al., 2015; Jardim et al., 2022).

Tais particularidades na morfofisiologia da palma forrageira oportunizam uma maior competência na captação e aproveitamento da água e nutrientes, possibilitando persistir em regiões cuja precipitação pluvial fique em torno de 150 mm ano⁻¹ (Queiroz et al., 2015; Dubeux Júnior et al., 2021). É característico de plantas com metabolismo fotossintético CAM conter uma eficiência de 3 a 10 vezes maior na utilização da água para produzir um quilo de matéria seca, quando comparada a plantas do grupo C3 e C4 (Dubeux Júnior et al., 2015; Jardim et al., 2021c).

No entanto, embora a palma persista a estas defasagens ambientais e seja conduzida na maioria das propriedades em condições de sequeiro, a mesma só é capaz de demonstrar seu potencial máximo de produção sob solos de alta fertilidade, umidade relativa do ar (>40%), temperaturas do ar inferior a 35°, e que possuam precipitações médias anuais de 368 a 812 mm ano⁻¹ (Bezerra et al., 2015; Pereira et al., 2015). Em regiões onde o regime hídrico for inferior, deve-se utilizar irrigação complementar, com isso, busca-se realizar uma melhor distribuição da água ao longo do ciclo da cultura e intensificar a produção de forragem em condições de aridez e semi-aridez (Yan et al., 2020; Araújo Júnior et al., 2021a).

Diante da importância dessa cactácea, estima-se que as áreas cultivadas com palma forrageira no Brasil fiquem em torno de 600.000 hectares, onde a quase totalidade destes cultivos se concentram na região Nordeste do país (Cavalcante et al., 2014; Salvador et al., 2021). O aumento de áreas cultivadas e produtividade desta cultura é advindo de pesquisas com novos clones de palma, tendo em vista a grande perda de palméis durante a infestação da cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae*), com isso, os três principais clones de palma utilizados atualmente são a Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), e os clones Miúda e IPA-Sertânia, ambas da espécie *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck (Figura 3) (Bezerra et al., 2015; Souza et al., 2019; Araújo Júnior et al., 2021c).

Perante da expansão desta cactácea e importância dos clones resistentes à cochonilha-do-carmim para o setor agropecuário local, a palma forrageira é uma fonte alimentar de grande relevância para a nutrição de ruminantes do semiárido, uma vez que os cladódios podem conter

até 90% de umidade (água coloidal) de peso *in natura*, além do aporte hídrico, os cladódios contêm vitaminas, carboidratos e minerais, como também, apresentam alta aceitabilidade e digestibilidade (Abreu et al., 2019; Salvador et al., 2021). Como resultado dos atributos bromatológicos citados desta cactácea, observa-se um favorecimento no desenvolvimento dos microrganismos presente no rúmen, possibilitando maior síntese de proteína microbiana e desempenho fermentativo (Cardoso et al., 2019; Lopes et al., 2019; Pessoa et al., 2020).

Embora a palma apresente enormes benefícios, deve-se atentar ao seu fornecimento exclusivo para o animal, uma vez que, pode acarretar em distúrbios metabólicos (i.e. timpanismo gasoso ou espumoso e acidose), além de diarreia não patogênica e diminuição no percentual de gordura do leite, decorrente do baixo teor de fibra da palma (Aguilar et al., 2015; Pessoa et al., 2020).

Desse modo, deve-se buscar a inserção de culturas que acrescentem maiores teores de fibra e proteína na dieta, com isso, a utilização de sistemas de cultivos consorciados tem potencial para suprir essa demanda, além de propiciar um maior aproveitamento de áreas cultivadas, maior ação microbiológica do solo e aumento no aporte e diversidade de forragem, proporcionando dietas mais completas e reduzindo o acometimento de problemas metabólicos e equilibrando a demanda nutricional dos ruminantes (Diniz et al., 2017; Cardoso et al., 2019; Araújo Júnior et al., 2021b; Salvador et al., 2021). Com o manejo citado anteriormente, pode-se obter uma maior colonização dos microrganismos ruminais, sucessivamente uma melhor absorção dos nutrientes compostos na dieta, maior ingestão de fibras e, conversão alimentar mais eficiente, e por consequência, maiores produtividade na atividade pecuária do semiárido (Aguilar et al., 2015; Abreu et al., 2019).

Sorgo forrageiro

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma monocotiledônea com metabolismo fotossintético C4 (Wang et al., 2021), pertencente à família Poaceae, subfamília Panicoideae, tribo Paniceae (Jardim et al., 2020a) (Figura 4).

O gênero *Sorghum* é bastante amplo e contém uma gama de espécies que apresentam grande difusão na África e Ásia, no entanto, a

origem desta gramínea ainda é incerta, porém relata-se que a originalidade do sorgo foi na África. Esta gramínea também possui caracteres de plantas xerófilas e persiste em ambientes áridos e semiáridos, onde há uma grande limitação ambiental (Lima et al., 2018a; Kirchner et al., 2019; Jardim et al., 2020b).

Diante do poder adaptativo desta espécie, ela é cultivada em diversos países sob diferentes

condições climáticas, onde se observa uma substituição progressiva da cultura do milho pelo sorgo, tendo em vista a menor exigência hídrica, desenvolvimento radicular, tolerância ao déficit hídrico, salinidade e acidez do solo e alta eficiência na utilização da água (Teetor et al., 2017; Lima et al., 2018b).

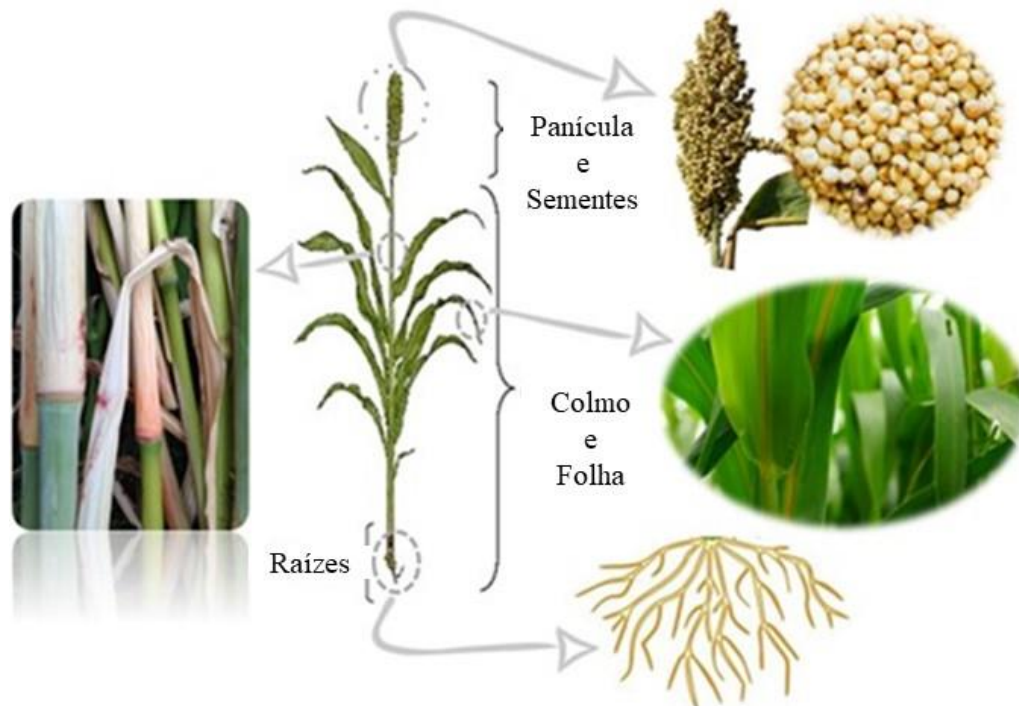


Figura 4. Ilustração das estruturas vegetativas e reprodutivas do sorgo. Fonte: (Jardim et al., 2020a).

Atualmente, esta gramínea é considerada o quinto cereal mais produzido no mundo, ficando atrás do trigo, milho, arroz e cevada (Abd El-Mageed et al., 2018). A principal utilização desta cultura é na alimentação humana (grãos) em países da África, como também, fonte de matéria prima para a produção de biocombustíveis e, aporte alimentar de ruminantes, aves, suínos (grãos e parte aérea) onde a mesma é capaz de produzir grandes quantidades de forragem com excelente qualidade e proporcionar maior sustentabilidade na produção animal em ambientes semiáridos (Elias et al., 2016; Jardim et al., 2020a; Zhao et al., 2020).

O sorgo forrageiro apresenta versatilidade quanto às formas de oferta para os rebanhos, a alimentação dos animais pode ser no cocho com o material *in natura*, feno, silagem, grãos ou pastejo, independentemente da forma de acesso é observado alta aceitabilidade, qualidade e

digestibilidade (Singh et al., 2017; Inácio et al., 2018; Sousa et al., 2019).

Além destas peculiaridades, esta gramínea possui alta capacidade de realizar sucessivas rebrotas e permitir vários ciclos durante o ano e, com isso, aumenta-se o aporte de forragem e minimiza-se os efeitos da sazonalidade na produção de alimentos para os rebanhos, e por consequência aumenta a eficiência e desempenho animal, mesmo durante os períodos de estiagem no semiárido (Elias et al., 2016; Alves et al., 2020; Jardim et al., 2020a).

Milheto forrageiro

O milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) (Figura 5) é uma planta forrageira pertencente à família Poaceae, com metabolismo fotossintético C4. Atualmente representa a sexta maior produção de cereal no mundo, depois do trigo, arroz, milho,

sorgo e cevada, com uma grande distribuição de áreas cultivadas em regiões áridas e semiáridas da África (centro de origem) e Índia, onde é utilizada para alimentação animal e humana, devido a

presença de altos teores de carboidratos, minerais vitaminas e alto teor proteico (Dias-Martins et al., 2018; Salvador et al., 2021).

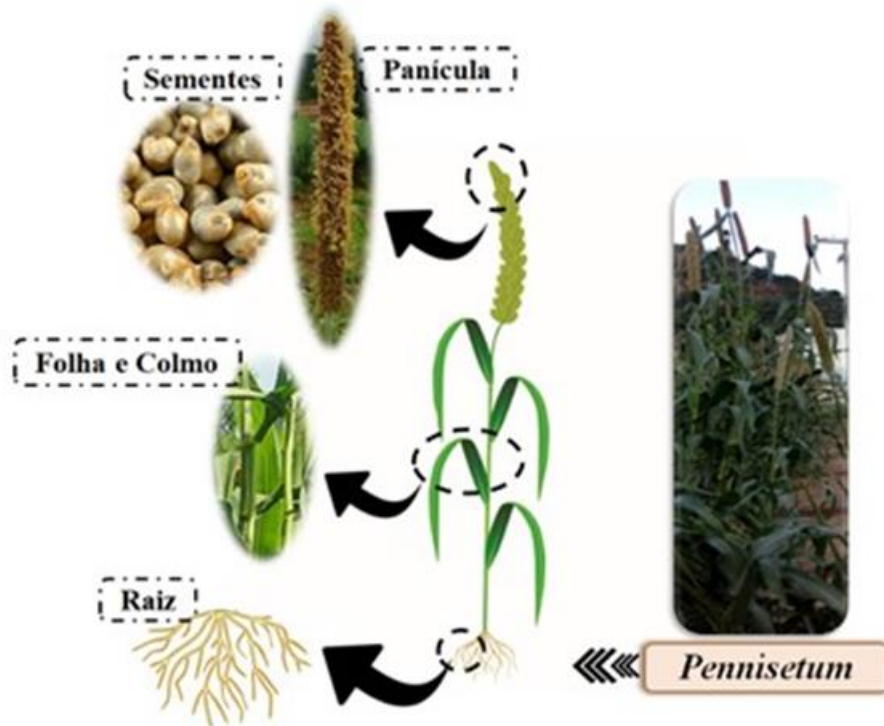


Figura 5. Cultura do milheto (*Pennisetum* sp.) e suas partes constituintes vegetativas e reprodutivas. Fonte: (Silva et al., 2020a).

Diante da adaptação desta cultura a ambientes com restrição hídrica, a mesma é capaz de persistir a regimes pluviométricos anuais mínimos de 150 mm, isso ocorre devido as mudanças morfofisiológicas da cultura, como área foliar reduzida, fechamento estomático, existência de cera na superfície da folha e ajuste osmótico. No entanto, as condições ideais de cultivo são entre 400 e 600 mm ano⁻¹, exigência hídrica bem menor quando comparada com o milho, tornando-a mais eficiente na utilização da água (Almeida et al., 2018; Bhattarai et al., 2020). Outras características da espécie a ambientes semiáridos são a baixa necessidade na fertilidade do solo, tolerância às temperaturas elevadas, persistência ao déficit hídrico, rústica, crescimento rápido, permite rebrotas, raízes bem desenvolvidas, alta capacidade de extração de nutrientes e apresenta um ciclo de produção curto (~75 a 120 dias), dependendo das condições edafoclimáticas e cultivares utilizadas (Simão et al., 2015; Souza et al., 2019).

Historicamente, há relatos que esta gramínea só chegou no Brasil em 1929 e, a intensificação do seu cultivo ocorreu apenas nas décadas de 60 e 70 (Dias-Martins et al., 2018). Atualmente, o milheto é bastante empregado na alimentação animal, onde a parte aérea é disponibilizada *in natura*, na forma de silagem, feno, e pastejo direto (para animais ruminantes), já os grãos são utilizados como matéria prima em formulação de dietas balanceadas para (i.e., suínos, peixes, codornas, bovinos, ovinos e caprinos), além da qualidade, o custo de produção dos grãos é considerado baixo quando comparado com outras gramíneas tradicionais (Li et al., 2019; Souza et al., 2019; Salvador et al., 2021).

Além da diminuição dos custos e qualidade da dieta final, o milheto é bastante empregado em plantios diretos, devido à alta biomassa produzida (i.e., 70 Mg ha⁻¹ de massa verde e até 20 Mg ha⁻¹ de massa seca) (Melo et al., 2015; Rocha et al., 2017), conservando-se a cobertura vegetal sobre o solo, disponibilizando nutrientes mediante

decomposição, melhorando as estruturas físicas do solo e reduzindo as possibilidades de erosão no solo (Silva et al., 2020; Salvador et al., 2021).

Mesmo que o milheto contenha altas produções, deve-se atentar o momento ideal de corte para produção de silagem, uma vez que vai influenciar no produto final (Li et al., 2019). Quando o milheto é colhido no momento avançado ideal do ciclo (i.e., tardiamente), a relação colmo/folha é aumentada, com isso, reduzindo os teores de carboidratos, vitaminas minerais e aumentando a fração fibrosa, provocando baixa digestibilidade e desempenho animal (Dias-Martins et al., 2018; Salvador et al., 2021).

Gliricídia

Prosseguindo em busca de mais fontes de alimentos para o rebanho, pode-se destacar a gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud), da família Fabaceae, originária do México e da América Central. Esta leguminosa de porte arbóreo pode chegar a 15 m de altura, possui crescimento rápido e enraizamento profundo, o que possibilita a resistência a longos períodos de seca (Neto et al., 2015) (Figura 6).



Figura 6. Cultura da gliricídia (*Gliricidia sepium*).

É uma cultura pouco exigente em fertilidade do solo, que se desenvolve bem em climas quentes e suporta temperaturas do ar, mínima e máxima de 14 a 41 °C, respectivamente (Edvan et al., 2016). Em relação ao uso alternativo, é muito utilizada como cerca viva, recuperação de áreas degradadas, devido à alta eficiência na fixação biológica de nitrogênio. Atualmente é

bastante empregada na alimentação de ruminantes, principalmente em regiões com clima semiárido. A gliricídia persiste a cortes sucessivos, permitindo até três ciclos por ano, disponibilizando forragem de alta qualidade mesmo em condições de déficit hídrico (Freire et al., 2012; Sá et al., 2021).

A produtividade da gliricídia a partir do terceiro ano de cultivo pode chegar a 20 Mg ha⁻¹ de

massa verde (MV) e 5 Mg ha⁻¹ de massa seca (MS), no entanto, quando é realizado até três cortes por ano esta leguminosa pode alcançar rendimentos de 60 e 15 Mg ha⁻¹ de MV e MS, respectivamente (Silva et al., 2020a). Segundo Sá et al. (2021), as folhas da gliricídia contêm valores médios de 23,1% de MS, 24,1% de proteína bruta (PB), 38,8% de fibra em detergente neutro (FDN) e 24,3% de fibra em detergente ácido (FDA). Esses autores mencionaram que o teor de PB desta forrageira é alto, tendo em vista a superioridade do requerimento mínimo para ruminantes de 7%, com isso, ocorrerá um bom desempenho e atividade microbiana do rúmen.

Embora exista uma grande disponibilidade de nutrientes nesta leguminosa, observa-se uma baixa aceitabilidade pelos animais quando a oferta é realizada *in natura*, decorrente da liberação de odores (compostos voláteis), tornando-se necessário a utilização de manejos com a forragem como a ensilagem e fenação, e também a adaptação dos animais, para que após a realização desses processos o animal venha a consumir maior quantidade desta forrageira (Sá et al., 2021).

Neto et al. (2015) analisaram indicadores de custo e benefício de dietas para ovinos da raça Santa Inês em confinamento com a inclusão de silagem de gliricídia, e observaram que dietas compostas por 15% de silagem dessa leguminosa foram economicamente positivas e promissoras, observando-se valores de peso corporal e custo/benefício bem próximo da dieta com 30% de concentrado, o que possibilita a redução de custos na propriedade e maior diversidade alimentar.

Leucena

A leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) (Figura 7) tem origem na América Central e México, podendo ser detectada em diversas regiões tropicais do globo. É uma leguminosa com porte arbustivo, perene, com raízes profundas e bem desenvolvidas, o que permite maior tolerância ao déficit hídrico e rusticidade. Por ser uma leguminosa com expressivas características de rusticidades, suas inúmeras possibilidades de uso contribuíram para sua ampla dispersão (Pereira Junior et al., 2013; Harrison et al., 2015; Conrad et al., 2017; Rodrigues-Corrêa et al., 2019).



Figura 7. Representação da leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit). Fonte: (Drumond e Ribaski, 2010).

Por ser adaptada a climas semiáridos e conter uma raiz profunda e bem desenvolvida, esta leguminosa é implantada em área em processo de degradação e, a mesma permite sua recuperação com o incremento de matéria orgânica e nitrogênio, também é inserida como adubação verde, controla

a erosão do solo, fonte de renda com a venda de lenha e carvão, sombreamento e quebra vento (Pereira Junior et al., 2013; Chaokaur et al., 2015). Todavia, a sua maior utilização é como planta forrageira para alimentação de ruminantes e não ruminantes, devido sua alta aceitabilidade. Esta

cultura pode alcançar produtividade de massa seca de 1 a 50 Mg ha⁻¹, com altos teores de proteína bruta (~26%), possibilitando a ingestão de um alimento de alta qualidade (Schneider et al., 2013; Fernández et al., 2020).

A leucena é capaz de disponibilizar proteína em quantidade e qualidade na dieta dos animais, no entanto, quando se considera apenas as folhas desidratadas sob granulometria de farinha, o teor de PB pode chegar a 292 g kg⁻¹, maior do que as folhas *in natura* (220,3 g kg⁻¹) (Molina et al., 2016). Apesar da concentração de proteína, há uma riqueza de outros constituintes nas folhas, como vitaminas e minerais, todavia ocorre a presença de tanino condensado, em torno de 10,1 a 10,5 g kg⁻¹ que são capazes de reduzir a atividade microbiológica como e.g., *Archaeas* metanogênicas do rúmen, e conseqüentemente diminuindo a produção do metano (CH₄) (Kang et al., 2012; Chaokaur et al., 2015).

É importante ter uma alternativa alimentar de qualidade como a leucena, tendo em vista que as regiões semiáridas, durante o período seco diminuem a oferta de forragem e apresentam baixo valor bromatológico para alimentação, principalmente de ruminantes (Piñeiro-Vázquez et al., 2017). Com a carência de alguns elementos como a PB, energia digestível (ED), alto percentual de FDN e lignina, pode provocar um aumento na produção e emissão do metano para a atmosfera, também resulta em menor eficiência na utilização da energia e nitrogênio da dieta, e corroborando para o baixo desempenho animal (Chaokaur et al., 2015; Rodrigues-Corrêa et al., 2019).

Além do aspecto forrageiro, o cultivo de leucena pode melhorar as condições químicas do solo, por meio da simbiose com bactérias principalmente do gênero *Rhizobium* permitindo a fixação biológica de nitrogênio (FBN). Quando consorciada com gramíneas pode proporcionar aumento de produtividade, além de contribuir no sequestro de CO₂ atmosférico e favorecendo a manutenção do carbono orgânico no solo (Srinivasarao et al., 2014; Conrad et al., 2017; Soltan et al., 2017).

Buscando-se a associação da produtividade e capacidade de FBN, a pesquisa realizada por Fernández et al. (2020) foi conduzida durante 11 anos, e os autores relataram que a produção média anual de matéria seca da leucena foi de 7,0 Mg ha⁻¹, FBN com média anual de 188 kg ha⁻¹ de N. Este total de nitrogênio fixado foi relacionado a

biomassa advinda da serapilheira do solo, que também foi avaliada e observou-se um grande acúmulo de N, sucessivamente esse material morto servirá como um reservatório e disponibilizará nutrientes de forma lenta mediante decomposição, contribuindo para maior fertilidade e produtividade do solo.

Moringa

A moringa (*Moringa oleífera* Lam.) (Figura 8), é uma espécie proveniente da Índia e do Paquistão (Shahzad et al., 2013). Esta planta foi utilizada desde os romanos, gregos e egípcios, que realizavam a extração de óleo para sua própria alimentação. Esta cultura é descrita taxonomicamente em reino: Plantae, sub-reino: Tracheobionta, superdivisão: Spermatophyta, divisão: Magnoliophyta, classe: Magnoliopsida, subclasse: Dilleniidae, ordem: Brassicales, família: Moringaceae, gênero: *Moringa* e espécie: *Moringa oleífera* (Granella et al., 2021). Em totalidade conhece-se treze espécies pertencentes ao gênero *Moringa*, no entanto, a mais utilizada para estudos e produção de alimentos para alimentação animal é a *M. oleífera* (Leone et al., 2015).

Nos últimos anos, houve uma enorme expansão do cultivo da moringa em várias regiões tropicais e subtropicais de todo globo, desde regiões áridas a semiáridas da Índia, Paquistão, Afeganistão, Arabia Saudita e também de países africanos. Tratando-se dos países pertencentes ao continente americano, como Cuba, Guatemala, Paraguai, Nicarágua, Venezuela, Brasil, Argentina e Equador, essa cultura também é explorada (Valdivié-Navarro et al., 2020; Granella et al., 2021).

Essa ampla distribuição é advinda das características da cultura em persistir em diferentes condições climáticas, no entanto, as temperaturas do ar ideais são em torno de 19 a 35 °C, todavia são capazes de sobreviver a uma temperatura extrema de até 48 °C (Saini et al., 2016). Esta forrageira pode ser cultivada em locais com elevações de 500 a 2000 m de altitude, capaz de persistir a eventos de geada e se desenvolve bem em diferentes solos, mesmo com pH entre 4,5 e 8, a mesma possui raízes tuberosas, bem desenvolvidas facilitando esta adaptação e extração de água e nutrientes (Saini et al., 2016; Abdel-Raheem & Hassan, 2021).

Diante disso, a moringa é muito utilizada para diversas finalidades, desde a produção de

medicamentos (todos os componentes da planta), cosméticos (óleos extraídos das sementes), flora apícola, fonte de combustível (madeira e óleo) e aporte forrageiro para os rebanhos (folhas, flores e sementes). As suas folhas são ricas em vitamina (A), proteína, minerais, ácidos graxos, também

contém saponinas, fitatos e taninos com baixa capacidade antinutricional, com isso os animais aproveitam mais o alimento fornecido (Rodrigues et al., 2016; Dias-Martins et al., 2018; Sultana, 2020).

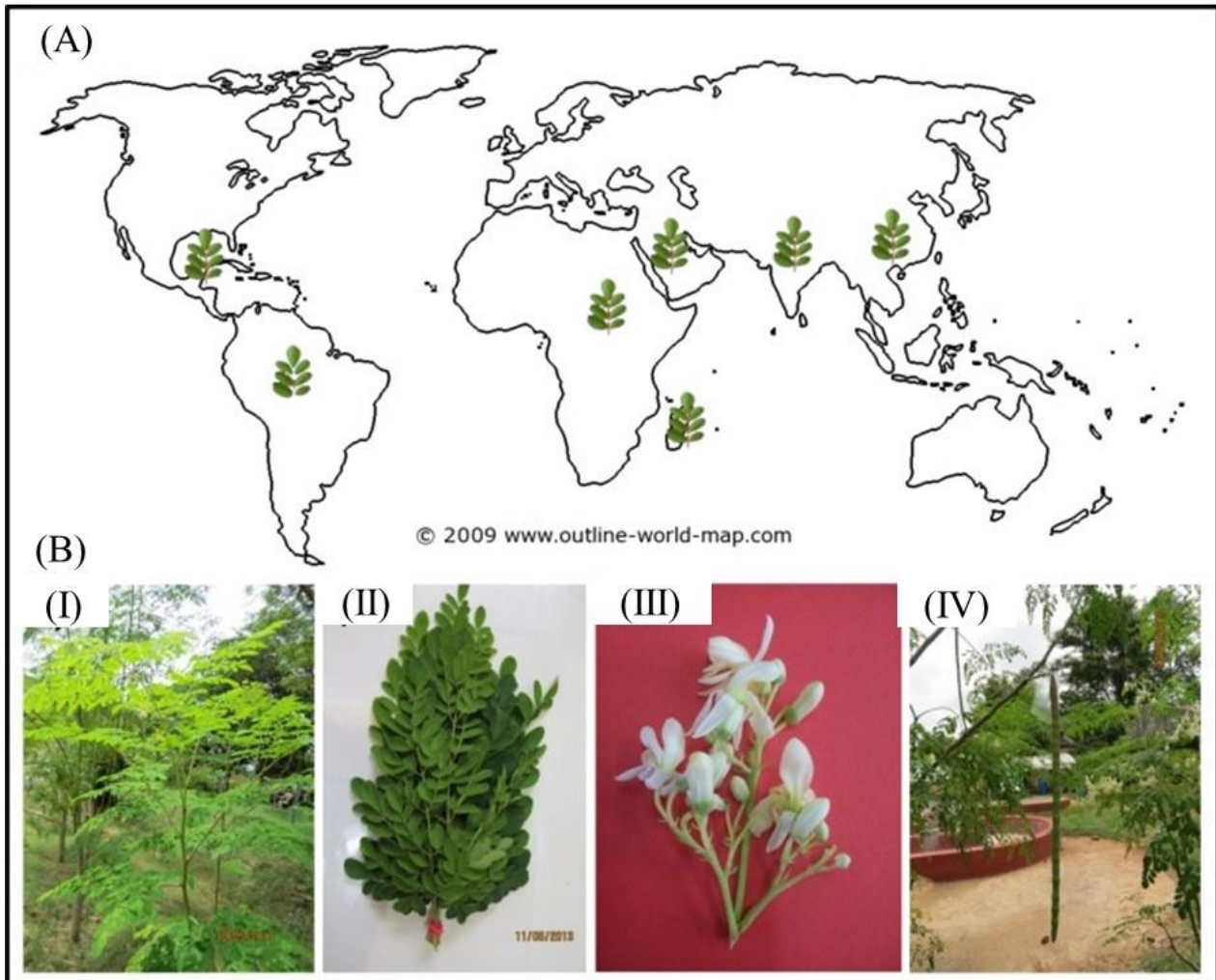


Figura 8. Distribuição da *Moringa oleifera* no mundo (A), diferentes partes vegetativas e reprodutivas da árvore *M. oleifera* (B); (I) árvore cultivada no campo, (II) feixe de folhagem, (III) flores e (IV) frutos (cápsula). Fonte: (Saini et al., 2016).

Partindo da importância e capacidade alimentar desta cultura para os rebanhos, o farelo da folha de moringa pode conter de 27 a 30% de PB, também apresenta um baixo custo de produção, no entanto quando se considera o percentual médio de PB das folhas e caule os teores são mais baixos, porém apresenta valores similares ao farelo de alfafa (15 a 22%); demonstrando a qualidade bromatológica desta cultura, que pode reduzir os custos com aquisição de fontes proteicas

e aumentar a eficiência produtiva das propriedades agrícolas (Valdivié-Navarro et al., 2020; Abdel-Raheem e Hassan, 2021).

Granella et al. (2021) relataram que adição de folhas de moringa na dieta potencializou a população microbiana do rúmen com uma maior fermentação em bovinos que receberam a casca de soja juntamente com o extrato das folhas de moringa, quando comparados com aqueles alimentados com milho e casca. Outro ponto

importante constatado pelos autores foi à redução de gases propulsores do efeito estufa liberados pelos ruminantes com a adição da moringa na dieta.

Manejes resilientes

Consortiação entre culturas

Buscando intensificar e diversificar a produção agrícola de forma sustentável, a inserção de sistemas consorciados tem aumentado nos últimos anos. O consórcio é o estabelecimento de duas ou mais culturas na mesma área de cultivo, onde o crescimento ocorre de forma simultânea, e quando bem instalado e manejado pode atender as demandas atuais e futuras de alimentos, bioenergia e contribuir para a melhoria ambiental (Dowling et al., 2021; Zegada-Lizarazu et al., 2021).

A consorciação é capaz de contribuir no controle biológico de pragas e doenças, devido a maior diversidade de espécies na área (Rosado et al., 2021), promover diminuição da incidência de erosão nas áreas, maior cobertura do solo e menor perda de água por meio da evaporação, diminuição da infestação de plantas daninhas, diversificação de microrganismos no solo, otimização da mão de obra, estabilidade alimentar para os rebanhos, diversidade de alimentos e fonte de renda para as famílias, também permite maior eficiência de utilização da luz e fertilizantes (Dowling et al., 2021). Todavia, para o desempenho de um sistema consorciado, deve-se atentar a utilização das espécies, arranjo espacial das culturas, densidade, época de semeadura, disponibilidade de água, fertilidade do solo e manejo de adubação, alelopatia, competição interespecífica e adição de cobertura morta sobre o solo (Diniz et al., 2017; Yin et al., 2020; Salvador et al., 2021).

Diante destas premissas, em várias partes do mundo observa-se a inclusão desta prática atenuadora e eficiente. Nesta perspectiva é comum encontrar o milho em diferentes sistemas de consórcio com outras culturas de interesse

econômico, como o trigo, ervilhaca, ervilha, soja, amendoim e colza (Figura 9) (Yin et al., 2020).

Além do milho, outras espécies forrageiras vêm sendo amplamente utilizadas. Diniz et al. (2017) observaram incremento por meio do índice de produtividade do sistema de aproximadamente 1,65 Mg ha⁻¹ no cultivo palma-sorgo em relação a palma exclusiva em ambiente semiárido e sob lâminas de irrigação, embora com uma redução na produtividade individual da cactácea, devido a competição interespecífica entre as culturas por recursos naturais (i.e., água, luz, nutrientes). Esses autores constataram além do incremento quantitativo no rendimento de fitomassa pelo consórcio, um acréscimo no teor de matéria seca da forragem. Embora a palma forrageira apresente baixo conteúdo de fibra, o sorgo é mais fibroso e contribuiu para este aumento final, mostrando a complementariedade das espécies no consórcio.

Em estudo subsequente, Jardim et al. (2021d) avaliaram o consórcio da palma com cultivares de sorgo em ambiente semiárido, e constataram incrementos produtivos de 47% em relação aos cultivos exclusivos. Os mesmos autores também relataram que a irrigação e implantação do consórcio durante o segundo ciclo produtivo da palma, proporciona ao sistema de produção plantas mais estáveis e vigorosas, o que consequentemente aumentou a capacidade produtiva desta cactácea dentro do sistema

O sucesso desta configuração de cultivo no Semiárido brasileiro é proporcionado perante complementação hídrica das espécies, e a palma por ter o metabolismo MAC realiza seus processos fotossintéticos durante o período noturno, enquanto o sorgo realiza seu processo fotossintético durante o dia, o que aumenta o aproveitamento de água do sistema, e consequentemente, menores perdas de água para atmosfera por meio da evaporação e, com isso aumentando a eficiência na utilização dos recursos hídricos disponíveis (Lima et al., 2018a; Jardim et al., 2021d).

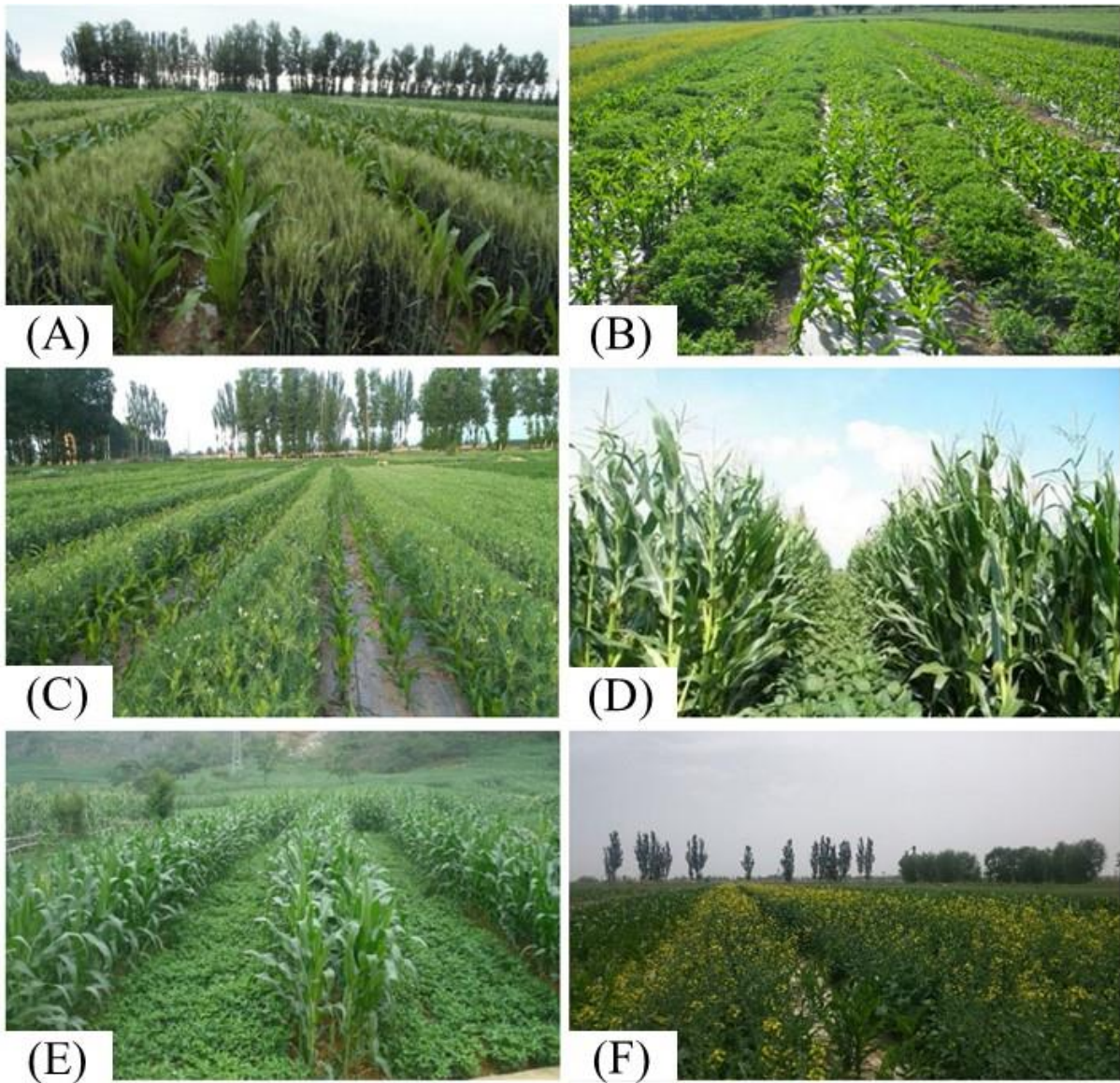


Figura 9. Padrões típicos de consórcio com base no milho, incluindo (a) milho-trigo; (b) milho-ervilhaca; (c) milho-ervilha; (d) milho-soja; (e) milho-amendoim; e (f) milho-colza. Fonte: (Yin et al., 2020).

Utilização de cobertura morta em sistemas de produção no semiárido

A adoção de cobertura morta no sistema de cultivo ocorre com materiais de origem orgânica (e.g., palhadas, restos de cultura, etc.) ou, inorgânica (plásticos) sobre a superfície do solo. Esse tipo de prática agrônômica visa diminuir a perda de água para a atmosfera e melhorar a eficiência dos sistemas de cultivo, principalmente em regiões áridas e semiáridas, onde ocorre demandas evapotranspirativas altas (Quintanilla-Tornel et al., 2016; Alves et al., 2018; Zhang et al., 2021).

O incremento de cobertura vegetal é capaz de proporcionar benefícios como a proteção do solo, diminuição na infestação de pragas e doenças devido a maior chance de ocorrência de inimigos naturais, redução de plantas daninhas e aumento na produtividade da cultura (Abd El-Mageed et al., 2016; Souza et al., 2019).

A conservação de palhada em sistema de cultivo como o plantio direto tem a capacidade de uniformizar a umidade do solo em toda área, no entanto é necessário se atentar qual o material vegetal a ser utilizado, uma vez que, a cobertura a base de leguminosas tem uma propensão a se degradar com maior rapidez devido a menor

relação C:N, em comparação ao uso de gramíneas, cuja relação de C:N é maior, conseqüentemente o material perdura por mais tempo e com isso permitindo maior proteção ao solo (Abd El-Mageed et al., 2018; Souza et al., 2019; Silva et al., 2020).

A utilização de cobertura morta na produção agrícola é bastante evidenciada. Wang et al. (2018) utilizaram três lâminas de irrigação através de um sistema de gotejo no trigo, e observaram que a aplicação de cobertura promoveu uma diminuição de 9 a 11% na necessidade total de água aplicada em comparação aos tratamentos com ausência de palhada vegetal.

Em termo de rendimento produtivo, Ding et al. (2021) analisaram quatro tipos de preparação do solo que consistiam em cultivo tradicional (CT) e plantio direto (PD) com e sem palhada, com 4500 kg ha⁻¹ de restos de milho como cobertura. Os autores observaram um aumento de 6,4% e 13,3% para o PD e PD com cobertura (PD+C) em relação ao CT. Também observaram incremento no rendimento médio anual do milho de 25,6% e 27,8%, sob PD e PD+C, respectivamente, durante duas safras.

Irrigação em ambiente semiárido

Ao longo dos anos pode-se observar uma redução na disponibilidade hídrica em torno do mundo, especialmente água de boa qualidade. Em regiões com climas áridos e semiáridos os efeitos da escassez hídrica são ainda mais evidenciados, corroborando para enormes danos sociais e econômicos para aquisição deste recurso (Pereira et al., 2015; Queiroz et al., 2016; Mbarki et al., 2018).

Todavia, inúmeros fatores podem limitar a disponibilidade de água, de modo que, a associação de temperaturas do ar elevadas, baixa umidade relativa do ar, evapotranspiração elevada e variabilidade das chuvas, provocadas pelas constantes mudanças nos padrões climáticos, devido ao grande efluxo de gases responsáveis pela elevação do efeito estufa, assim como o crescimento desacerbado da população, resultando em maior procura por alimentos e consumo de água em cultivos agrícolas (Wang et al., 2020; Yang et al., 2020).

Com essas demandas, torna-se necessário ter um melhor aproveitamento da água aplicada na agricultura, recomendando-se a irrigação complementar, que busca garantir a segurabilidade da produção agropecuária, uma vez que o regime

hídrico local é superado pela alta demanda atmosférica, ocasionando limitação hídrica para as forragens na maior parte do ano (Wang et al., 2018; Sarker et al., 2020).

A irrigação complementar pode suprir a demanda hídrica das culturas e reduzir os efeitos do estresse hídrico, possibilitando aumento na produtividade agrícola ao longo do ano, principalmente no Semiárido brasileiro, onde os principais sistemas agrícolas são conduzidos em sequeiro, condicionando suas produções apenas ao período das águas (Brito et al., 2016; Araújo Júnior et al., 2021c; Salvador et al., 2021).

Contudo, a água utilizada na irrigação é proveniente de poços subterrâneos que na maioria das vezes contém baixa qualidade, devido as altas concentrações de sais (Yan et al., 2020; Yavuz et al., 2020). No entanto, a aplicação de água com qualidade inferior nos manejos de irrigação em cultivos agrícolas se torna uma tendência atual e futura, logo, deve-se utilizar este recurso hídrico de forma consciente e com precisão, com intuito de evitar acúmulos de sais no sistema de cultivo e ocasionar salinização dos solos e, conseqüentemente aumentar a produtividades dos cultivos (Sousa et al., 2021).

Tendo em vista que em regiões áridas e semiáridas ocorre uma precipitação pluvial irregular, evapotranspiração alta e balanço hídrico extremamente negativo, o que dificulta o carreamento destes sais por lixiviação para as camadas mais subsuperficiais (Yan et al., 2020). Quando evidencia-se a salinização, este efeito potencializa a chance de ocorrer impactos prejudiciais aos processos químicos, biológicos e físicos do solo, causando retardamento no crescimento, desenvolvimento e rendimento final das espécies agrícolas (Bezerra et al., 2015; Mbarki et al., 2018).

A utilização de irrigação é uma ferramenta de grande importância para locais com restrições de água, todavia, discute-se muito qual é o melhor sistema de irrigação a ser utilizado. Os principais métodos utilizados (aspersão e sulcos) caracterizam-se por ser de baixa efetividade, sendo capaz de disponibilizar 30% da água para as plantas (Mostafa et al., 2018). No entanto, quando é inserindo o manejo de irrigação com gotejamento a eficiência é elevada, sendo capaz de economizar até 65% de água, quando comparado a outros sistemas.

Além do mais, observa-se maior uniformidade de aplicação, redução da perda de água por processos evaporativos, diminuição do escoamento superficial e melhora a infiltração; permitindo maiores quantidades de água nas proximidades da raiz e menor custo com energia elétrica (Araújo Júnior et al., 2021a; Salvador et al., 2021).

Índices de eficiência biológica em cultivos forrageiros

Os índices de eficiência biológica para avaliar a performance dos sistemas consorciados em questão são: uso eficiente da terra (UET), razão de área equivalente no tempo (RAET), coeficiente equivalente de terra (CET) e índice de produtividade do sistema (IPS) (Jardim et al., 2021b), os mesmos são calculados de acordo com os procedimentos presentes nas Equações 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Esses índices são de extrema relevância para auxiliar os produtores em tomadas de decisão, como também podem ser aplicados em qualquer parte do mundo, independentemente das condições climáticas e de solo.

$$UET = \frac{Y_{ab}}{Y_{aa}} + \frac{Y_{ba}}{Y_{bb}} \quad (1)$$

Os parâmetros Y_{ab} e Y_{aa} referem-se ao rendimento da cultura principal em cultivo consorciado e exclusivo, respectivamente. Enquanto que, o Y_{ba} e Y_{bb} é referente a produtividade da planta forrageira secundária em consórcio e monocultivo, respectivamente. Com isso, quando $UET > 1$, observa-se que existe vantagem dos cultivos consorciados em relação ao exclusivo. Todavia, se o resultado do $UET = 1$, não há vantagem produtiva, e quando a $UET < 1$, existe desvantagem em consorciar (Yilmaz et al., 2014; Diniz et al., 2017; Jardim et al., 2021b).

$$RAET = \frac{(UET_a \times t_a) + (UET_b \times t_b)}{T_{ab}} \quad (2)$$

em que, UET_a e t_a correspondem respectivamente, ao uso eficiente da terra e duração do ciclo da cultura principal. Já a UET_b e t_b , se refere a utilização eficiente da terra e tempo em dias da duração do ciclo da cultura secundária. Enquanto o T_{ab} é o tempo total do sistema consorciado em dias. Quando a $RAET > 1$, compreende vantagem ao implantar um cultivo consorciado, caso

contrário, se $RAET = 1$, não há vantagem. Como reportado no índice citado acima, se a $RAET < 1$, ocorre desvantagem do sistema associado em relação ao monocultivo (Diniz et al., 2017). O tempo em que as culturas ficam dispostas em campo é um fator crucial na economia do sistema de cultivo, e quando as culturas prolongam o tempo de colheita as mesmas ficam mais suscetíveis as adversidades climáticas, herbivoria e fitopatógenos.

$$CET = UET_a \times UET_b \quad (3)$$

onde, o $CET > 0,25$ configura vantagem produtiva em sistemas consorciados, uma vez que o coeficiente produtivo mínimo é de 25% (Diniz et al., 2017; Jardim et al., 2021b). Além disso, os resultados positivos deste índice reportam que o sistema consorciado tem maiores vantagens econômicas, quando comparado aos demais sistemas.

$$IPS = \left(\frac{Y_{aa}}{Y_{bb}} \right) Y_{ba} + Y_{ab} \quad (4)$$

em que, o IPS será utilizado para padronizar a cultura secundária com a cultura primária ou principal (Diniz et al., 2017; Jardim et al., 2021b).

Índices de habilidade competitiva

Por sua vez, os índices de habilidade competitiva do sistema consorciados são: coeficiente de adensamento relativo (CAR), agressividade (A), perda ou ganho atual de rendimento (PGAR) e razão de competitividade (RC). Os mesmos são calculados conforme as Equações 5, 6, 7 e 8, respectivamente (Diniz et al., 2017; Jardim et al., 2021b).

$$CAR_{ab} = \frac{Y_{ab} \times X_{ba}}{Y_{aa} - Y_{ab}} \times X_{ab} \quad (5)$$

em que, X_{ab} é a proporção de plantio da cultura principal em consórcio; X_{ba} é a proporção de plantio da espécie secundária em consorciação com a principal. Se o produto dos dois coeficientes, isto é, $CAR = (CAR_{ab} \times CAR_{ba}) > 1$, há vantagem no rendimento do sistema consorciado quando comparado ao exclusivo, se $CAR = 1$, não existe vantagem produtiva, e se $CAR < 1$, há desvantagem no consórcio. Quando $CAR_{ab} > CAR_{ba}$, indica que a planta forrageira principal é mais competitiva

em relação a secundária (Diniz et al., 2017; Jardim et al., 2021b). Esses fatores de habilidade competitiva são fundamentais no aumento da taxa de sucesso das culturas.

$$A_{ab} = \frac{Y_{ab}}{Y_{aa} \times X_{ab}} - \frac{Y_{ba}}{Y_{bb} \times X_{ba}} \quad (6)$$

Em relação à agressividade das culturas, quando $A_{ab} = 0$, ambas as culturas são igualmente competitivas, enquanto que, $A_{ab} > 0$, a cultura principal é dominante em relação à secundária, e se $A_{ab} < 0$, a espécie secundária se sobressai da principal (Sadeghpour et al., 2013). É fundamental que na escolha das espécies, a agressividade não seja tão discrepante ao ponto de que as culturas sofram supressão, já que, a elevada supressão pode ocasionar morte elevada do estande das culturas.

$$PGAR = \left(UET_a \times \left[\frac{100}{X_{ab}} \right] - 1 \right) \quad (7)$$

em que, se o $PGAR > 0$, sugere que existe vantagem do sistema consorciado sobre o sistema exclusivo, enquanto que, se $PGAR < 0$, ocorre desvantagem em consorciar (Diniz et al., 2017; Jardim et al., 2021b).

$$RC_a = \frac{UET_a}{UET_b} \times \frac{X_{ba}}{X_{ab}} \quad (8)$$

Se o $RC_a < 1$, há um benefício positivo para a consorciação e as espécies podem ser cultivadas juntas, enquanto que, se $RC_a > 1$, há uma maior competitividade entre as culturas quando comparado ao cultivo solteiro, não indicando a consorciação (Sadeghpour et al., 2013; Jardim et al., 2021b).

Benefício econômico

Em todo sistema de produção sustentável, aspectos como alta lucratividade e rendimento forrageiro são características desejáveis e buscada pelos investidores. A análise econômica pode ser realizada com base no índice de vantagem monetária (IVM), expresso em R\$ ha⁻¹. Para o cálculo do IVM utiliza-se o UET conforme demonstrado na Equação 9 (Diniz et al., 2017; Jardim et al., 2021b).

$$IVM = RL \times \frac{UET - 1}{UET} \quad (9)$$

A RL é a receita líquida do consórcio (R\$ ha⁻¹). Desta forma, quanto maior o IVM, mais lucrativo é o sistema consorciado.

Considerações Finais

A revisão de literatura aborda práticas que buscam a maximização e intensificação dos cultivos, por meio da adoção de cobertura morta no solo, consorciação entre culturas com adaptabilidade a condições semiáridas e irrigação complementar, que podem proporcionar maiores produções de fitomassa e melhorar os ecossistemas das áreas cultivadas.

A utilização de índices de eficiência biológica, habilidade competitiva e retorno econômico disponibilizam informações assertivas e determinantes para a indicação de espécies e configurações de cultivos que podem ser manejados conjuntamente no consórcio.

Além dos índices de eficiência biológica e habilidade competitiva, é importante o incentivo a pesquisas futuras que utilizem esses índices juntamente com monitoramentos de trocas gasosas e fluxo de CO₂, para auxiliar na mitigação dos mesmos, e proporcionar lavouras mais eficientes e com menores danos ao meio ambiente.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco – FACEPE; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES (Código Financeiro 001) pela bolsa de pesquisa e estudo dos autores.

Referências

- Abd El-Mageed, T.A., El-Samnoudi, I.M., Ibrahim, A.E.A.M., Abd El Tawwab, A.R., 2018. Compost and mulching modulates morphological, physiological responses and water use efficiency in sorghum (*bicolor* L. Moench) under low moisture regime. *Agric. Water Manag.* 208, 431–439. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.042>
- Abd El-Mageed, T.A., Semida, W.M., Abd El-Wahed, M.H., 2016. Effect of mulching on plant water status, soil salinity and yield of squash under summer-fall deficit irrigation in salt affected soil. *Agric. Water Manag.* 173, 1–12.

- <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.025>
 Abdel-Raheem, S.M., Hassan, E.H., 2021. Effects of dietary inclusion of Moringa oleifera leaf meal on nutrient digestibility, rumen fermentation, ruminal enzyme activities and growth performance of buffalo calves. *Saudi J. Biol. Sci.* 28, 4430–4436. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.04.037>
- Abreu, K.S.F., Vêras, A.S.C., Andrade Ferreira, M., Madruga, M.S., Maciel, M.I.S., Félix, S.C.R., Melo Vasco, A.C.C., Urbano, S.A., 2019. Quality of meat from sheep fed diets containing spineless cactus (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck). *Meat Sci.* 148, 229–235. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.036>
- Aguiar, M.D.S.M.A., Siva, F.F., Donato, S.L.R., Rodrigues, E.S.O., Costa, L.T., Mateus, R.G., Souza, D.R., Da Silva, V.L., 2015. Palma forrageira em dietas de novilhas leiteiras confinadas: Desempenho e viabilidade econômica. *Semin. Agrar.* 36, 1013–1030. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n2p1013>
- Almeida, M.C.R., Leite, M.L. de M.V., Júnior, E.H. de S., Cruz, M.G. da, Moura, G.A. de, Moura, E.A. de, Sá, G.A. dos S., Lucena, L.R.R. de, 2018. Crescimento vegetativo de cultivares de milheto sob diferentes disponibilidades hídricas Vegetative growth of millet cultivars under different water availability. *Magistra* 29, 161–171.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L. de M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Zeitschrift* 22, 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Alves, C.P., Silva, T.G.F., Alves, H.K.M.N., Jardim, A.M. da R.F., Souza, L.S.B. de, Cruz Neto, J.F. da, Santos, J.P.A. de S., 2020. Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação: balanço de água no solo e coeficientes da cultura. *Agrometeoros* 27, 347–356. <https://doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26448>
- Alves, H.K.M.N., Jardim, A.M. da R.F., Souza, L.S.B. de, Silva, T.G.F. da, 2018. The application of agrometeorological techniques contributes to the agricultural resilience of forage cactus: A review. *Amaz. J. Plant Res.* 2, 207–220. <https://doi.org/10.26545/ajpr.2018.b00026x>
- Araújo Júnior, G. do N., Jardim, A.M. da R.F., Silva, M.J. da, Alves, C.P., Souza, C.A.A. de, Costa, S.A.T. da, Cunha, M.V. da, Simões, A. do N., Silva, J.R.I. da, Souza, L.S.B. de, Silva, T.G.F. da, 2021a. Growth dynamics and accumulation of forage mass of forage cactus clones as affected by meteorological variables and water regime. *Eur. J. Agron.* 131, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126375>
- Araújo Júnior, G. do N., Silva, T.G.F. da, Bastos, L.S., Souza, D., Souza, M. de S., Araújo, G.G.L. de, Moura, M.S.B. de, Santos, J.P.A. de S., Jardim, A.M. da R.F., Alves, C.P., Alves, H.K.M.N., 2021b. Productivity, bromatological composition and economic benefits of using irrigation in the forage cactus under regulated deficit irrigation in a semiarid environment. *Bragantia* 80, 1–12. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200390>
- Araújo Júnior, G. do N., Silva, T.G.F. da, Souza, L.S.B. de, Araújo, G.G.L. de, Moura, M.S.B. de, Alves, C.P., Salvador, K.R. da S., Souza, C.A.A. de, Montenegro, A.A. de A., Silva, M.J. da, 2021c. Phenophases, morphophysiological indices and cutting time in clones of the forage cacti under controlled water regimes in a semiarid environment. *J. Arid Environ.* 190, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104510>
- Bezerra, S.A. de F., Silva, T.G.F. da, Souza, L.S.B. de, Moura, M.S.B. de, Morais, J.E.F. de, Diniz, W.J. da S., Queiroz, M.G. de, 2015. Demanda hídrica bruta da Palma Forrageira em cenários futuros de mudanças climáticas no Estado de Pernambuco. *Rev. Bras. Geogr. Física* 8, 1628–1643. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150092>
- Bhattarai, B., Singh, S., West, C.P., Ritchie, G.L., Trostle, C.L., 2020. Water Depletion Pattern and Water Use Efficiency of Forage Sorghum, Pearl millet, and Corn Under Water Limiting Condition. *Agric. Water Manag.* 238, 106206. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106206>
- Brito, C.F.B., Fonseca, V.A., Santos, M.R. dos, 2016. Desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento com aplicação da água salina. *Rev. Agrotecnologia* 7, 10–17.
- Cardoso, D.B., Carvalho, F.F.R. de, Medeiros, G.R. de, Guim, A., Cabral, A.M.D., Vêras, R.M.L., Santos, K.C. dos, Dantas, L.C.N., Nascimento, A.G. de O., 2019. Levels of inclusion of spineless cactus (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) in the diet of lambs.

- Anim. Feed Sci. Technol. 247, 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.10.016>
- Cavalcante, L.A.D., Santos, G.R. de A., Silva, L.M. da, Fagundes, J.L., Silva, M.A. da, 2014. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. *Pesqui. Agropecuária Trop.* 44, 424–433. <https://doi.org/10.1590/s1983-40632014000400010>
- Chaokaur, A., Nishida, T., Phaowphaisal, I., Sommart, K., 2015. Effects of feeding level on methane emissions and energy utilization of Brahman cattle in the tropics. *Agric. Ecosyst. Environ.* 199, 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.09.014>
- Conrad, K.A., Dalal, R.C., Dalzell, S.A., Allen, D.E., Menzies, N.W., 2017. The sequestration and turnover of soil organic carbon in subtropical leucaena-grass pastures. *Agric. Ecosyst. Environ.* 248, 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.020>
- Costa, M. da S., Oliveira-Júnior, J.F. de, Santos, P.J. dos, Correia Filho, W.L.F., Gois, G. de, Blanco, C.J.C., Teodoro, P.E., Silva Junior, C.A. da, Santiago, D. de B., Souza, E. de O., Jardim, A.M. da R.F., 2021. Rainfall extremes and drought in Northeast Brazil and its relationship with El Niño–Southern Oscillation. *Int. J. Climatol.* 1–25. <https://doi.org/10.1002/joc.6835>
- Cunha, D.A., Coelho, A.B., Féres, J.G., Braga, M.J., de Souza, E.C., 2013. Irrigação como estratégia de adaptação de pequenos agricultores às mudanças climáticas: Aspectos econômicos. *Rev. Econ. e Sociol. Rural* 51, 369–386. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032013000200009>
- Dias-Martins, A.M., Pessanha, K.L.F., Pacheco, S., Rodrigues, J.A.S., Carvalho, C.W.P., 2018. Potential use of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) in Brazil: Food security, processing, health benefits and nutritional products. *Food Res. Int.* 109, 175–186. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.023>
- Ding, J., Wu, J., Ding, D., Yang, Y., Gao, C., Hu, W., 2021. Effects of tillage and straw mulching on the crop productivity and hydrothermal resource utilization in a winter wheat-summer maize rotation system. *Agric. Water Manag.* 254, 106933. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106933>
- Diniz, W.J. da S., Silva, T.G.F. da, Ferreira, J.M. da S., Santos, D.C. dos, Moura, M.S.B. de, Araújo, G.G.L. de, Zolnier, S., 2017. Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 52, 724–733. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000900004>
- Dowling, A., O Sadras, V., Roberts, P., Doolette, A., Zhou, Y., Denton, M.D., 2021. Legume-oilseed intercropping in mechanised broadacre agriculture – a review. *F. Crop. Res.* 260, 107980. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107980>
- Dubeux Júnior, J.C.B., Araújo Filho, J.T. de, Santos, M.V.F. dos., Lira, M. de A., Santos, D.C. dos., Pessoa, R.A.S., 2010. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira – Clone IPA-201. *Rev. Bras. Ciências Agrárias* 5, 129–135. <https://doi.org/10.5039/agraria.v5i1a591>
- Dubeux Júnior, J.C.B., Santos, M.V.F. dos, Cunha, M.V. da, Santos, D.C. dos, Souza, R.T. de A., Mello, A.C.L. de, Souza, T.C. de, 2021. Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 275, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114890>
- Dubeux Junior, J.C.B., Santos, M.V.F., Cunha, M. V., Ferreira, M.A., Santos, D.C., Lira, M.D.A., Silva, M.C., 2015. Forage potential of cacti on drylands. *Acta Hortic.* 181–186.
- Edvan, R.L., Carneiro, M.S. de S., Silva, E.B. da, Albuquerque, D.R., Pereira, E.S., Bezerra, L.R., Silva, A.L. da, Araújo, M.J. de, 2016. Análise de crescimento da glicíndia submetida a diferentes manejos de corte. *Arch. Zootec.* 65, 163–169. <https://doi.org/10.21071/az.v65i250.483>
- Elias, O.F.A. e S., Leite, M.L. de M.V., Azevedo, J.M., Silva, J.P.S. de S., Nascimento, G.F. do, Simplício, J.B., 2016. Características agrônômicas de cultivares de sorgo em sistema de plantio direto no Semiárido de Pernambuco. *J. Chem. Inf. Model.* 14, 29–36. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Fernández, M., Alaejos, J., Andivia, E., Madejón, P., Díaz, M.J., Tapias, R., 2020. Short rotation coppice of leguminous tree *Leucaena* spp. improves soil fertility while producing high biomass yields in Mediterranean environment.

- Ind. Crops Prod. 157. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112911>
- Ferreira, T.R., Silva, B.B.D., De Moura, M.S.B., Verhoef, A., Nóbrega, R.L.B., 2020. 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. *Agric. For. Meteorol.* 291, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108052>
- Freire, A.L. de O., Leão, D.A.S., De Miranda, J.R.P., 2012. Acúmulo de massa seca e de nutrientes em gliricídia em resposta ao estresse hídrico e a doses de fósforo. *Semin. Agrar.* 33, 19–26. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n1p19>
- Garcia, T.M., Heyduk, K., Kuzmick, E., Mayer, J.A., 2014. Crassulacean acid metabolism biology. *New Phytol.* 204, 738–740. <https://doi.org/10.1111/nph.13127>
- Gitari, H.I., Nyawade, S.O., Kamau, S., Karanja, N.N., Gachene, C.K.K., Raza, M.A., Maitra, S., Schulte-Geldermann, E., 2020. Revisiting intercropping indices with respect to potato-legume intercropping systems. *F. Crop. Res.* 258. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107957>
- Granella, S.J., Bechlin, T.R., Christ, D., Coelho, S.R.M., Paz, C.H. de O., 2021. An approach to recent applications of *Moringa oleifera* in the agricultural and biofuel industries. *South African J. Bot.* 137, 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.10.006>
- Harrison, M.T., McSweeney, C., Tomkins, N.W., Eckard, R.J., 2015. Improving greenhouse gas emissions intensities of subtropical and tropical beef farming systems using *Leucaena leucocephala*. *Agric. Syst.* 136, 138–146. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.03.003>
- Hussain, J., Khaliq, T., Ahmad, A., Akhter, J., Asseng, S., 2018. Wheat Responses to Climate Change and Its Adaptations: A Focus on Arid and Semi-arid Environment. *Int. J. Environ. Res.* 1–11. <https://doi.org/10.1007/s41742-018-0074-2>
- Inácio, D.F.S., Rezende, A.S.C., Melo, M.M., Quintão Lana, Â.M., Silva, R.H.P., Mendes, L. de J., Reis, L. de P.G., Maruch, S., Ralston, S.L., 2018. Effect of Supplementation of Sorghum Silage in Weanling Fillies During the Dry Period in Brazil. *J. Equine Vet. Sci.* 68, 88–93. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2018.05.217>
- Jardim, A.M. da R.F., Santos, H.R.B., Alves, H.K.M.N., Ferreira-Silva, S.L., Souza, L.S.B. de, Araújo Júnior, G. do N., Souza, M. de S., Araújo, G.G.L. de, Souza, C.A.A. de, Silva, T.G.F. da, 2021a. Genotypic differences relative photochemical activity, inorganic and organic solutes and yield performance in clones of the forage cactus under semi-arid environment. *Plant Physiol. Biochem.* 162, 421–430. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.011>
- Jardim, A.M. da R.F., Silva, Thieres George Freire da Souza, L.S.B. de, Araújo Júnior, G. do N., Alves, H.K.M.N., Souza, M. de S., Araújo, G.G.L. de, Moura, M.S.B. de, 2021b. Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. *J. Arid Environ.* 188, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104464>
- Jardim, A.M. da R.F., Silva, G.Í.N. da, Biesdorf, E.M., Pinheiro, A.G., Silva, M.V. da, Araújo Júnior, G. do N., Santos, A. dos, Alves, H.K.M.N., Souza, M. de S., Morais, J.E.F. de, Alves, C.P., Silva, T.G.F. da, 2020a. Production potential of *Sorghum bicolor* (L.) Moench crop in the Brazilian semiarid: review. *Pubvet* 14, 1–12. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v14n4a550.1-13>
- Jardim, A.M. da R.F., Silva, M.V. da, Silva, A.R., Santos, A. dos, Pandorfi, H., Oliveira-Júnior, J.F. de, de Lima, J.L.M.P., Souza, L.S.B. de, Araújo Júnior, G. do N., Lopes, P.M.O., Moura, G.B. de A., Silva, T.G.F. da, 2021c. Spatiotemporal climatic analysis in Pernambuco State, Northeast Brazil. *J. Atmos. Solar-Terrestrial Phys.* 223, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2021.105733>
- Jardim, A.M. da R.F., Silva, T.G.F. da, Souza, L.S.B. de, Souza, M. de S., 2020b. Interaction of agroecosystem intercropped with forage cactus-sorghum in the semi-arid environment: a review. *J. Environ. Anal. Prog.* 5, 069–087. <https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2743.069-087>
- Jardim, A.M. da R.F., Silva, J.R.I., Leite, M.L. de M.V., Teixeira, V.I., Morato, R.P., Araújo Júnior, G. do N., Silva, T.G.F., 2018. Symbiotic interaction in forage crop cultivations: A review. *Amaz. J. Plant Res.* 2, 149–160.

- <https://doi.org/10.26545/ajpr.2018.b00019x>
 Jardim, A.M. da R.F., Souza, L.S.B., Alves, C.P., Araújo, J.F.N., Souza, C.A.A., Pinheiro, A.G., Araújo, G.G.L., Campos, F.S., Tabosa, J.N., Silva, T.G.F., 2021d. Intercropping forage cactus with sorghum affects the morphophysiology and phenology of forage cactus. *African J. Range Forage Sci.* 12. <https://doi.org/10.2989/10220119.2021.1949749>
- Jardim, A.M.R.F., Morais, J.E.F., Souza, L.S.B., Silva, T.G.F., 2022. Understanding interactive processes: a review of CO₂ flux, evapotranspiration, and energy partitioning under stressful conditions in dry forest and agricultural environments. *Environ. Monit. Assess.* 194, 1–22. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10339-7>
- Jiao, N., Wang, J., Ma, C., Zhang, C., Guo, D., Zhang, F., Jensen, E.S., 2021. The importance of aboveground and belowground interspecific interactions in determining crop growth and advantages of peanut/maize intercropping. *Crop J.* 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.12.004>
- Kang, S., Wanapat, M., Pakdee, P., Pilajun, R., Cherdthong, A., 2012. Effects of energy level and *Leucaena leucocephala* leaf meal as a protein source on rumen fermentation efficiency and digestibility in swamp buffalo. *Anim. Feed Sci. Technol.* 174, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.03.007>
- Khoury, C.K., Castañeda-Alvarez, N.P., Achicanoy, H.A., Sosa, C.C., Bernau, V., Kassa, M.T., Norton, S.L., van der Maesen, L.J.G., Upadhyaya, H.D., Ramírez-Villegas, J., Jarvis, A., Struik, P.C., 2015. Crop wild relatives of pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]: Distributions, ex situ conservation status, and potential genetic resources for abiotic stress tolerance. *Biol. Conserv.* 184, 259–270. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.01.032>
- Kirchner, J.H., Robaina, A.D., Peiter, M.X., Torres, R.R., Mezzomo, W., Bahú Ben, L.H., Pimenta, B.D., Pereira, A.C., 2019. Production function and efficiency in water use in irrigated forage sorghum. *Rev. Bras. Ciências Agrar.* 14. <https://doi.org/10.5039/AGRARIA.V14I2A5646>
- Leite, M.L. de M.V., Silva, D.S. da, Andrade, A.P. de, Pereira, W.E., Ramos, J.P. de F., 2014. Caracterização da produção de palma forrageira no cariri paraibano. *Rev. Caatinga* 27, 192–200.
- Leone, A., Spada, A., Battezzati, A., Schiraldi, A., Aristil, J., Bertoli, S., 2015. Cultivation, genetic, ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of *Moringa oleifera* leaves: An overview. *Int. J. Mol. Sci.* 16, 1–45. <https://doi.org/10.3390/ijms160612791>
- Li, Y., Hu, A., Wang, X., Zheng, J., 2019. Physicochemical and in vitro digestion of millet starch: Effect of moisture content in microwave. *Int. J. Biol. Macromol.* 134, 308–315. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.046>
- Lima, L.R., Silva, T.G.F. da, Jardim, A.M. da R.F., Souza, C.A.A. de, Queiroz, M.G., José Nildo Tabosa, 2018a. Growth, water use and efficiency of forage cactus sorghum intercropping under different water depths. *Rev. Bras. Eng. Agric. e Ambient.* 22, 113–118. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n2p113-118>
- Lima, L.R., Silva, T.G.F. da, Pereira, P. de C., Morais, J.E.F. de, Assis, M.C. de Sá, 2018b. Productive-economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping systems irrigated with saline water. *Rev. Caatinga* 31, 191–201. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n122rc>
- Lopes, L.A., Cardoso, D.B., Camargo, K.S., Pereira, G., Sena, J. De, Souza, R., Ricardo, J., Silva, C., Morais, J.S. De, Polyana, T., Araújo, M., 2019. Palma forrageira na alimentação de ruminantes. *Pubvet* 13, 1–10.
- Marengo, J.A., Cunha, A.P., Alves, L.M., 2016. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. *Rev. Climanalise* 4, 49–54.
- Marques, T. V., Mendes, K., Mutti, P., Medeiros, S., Silva, L., Perez-Marin, A.M., Campos, S., Lúcio, P.S., Lima, K., dos Reis, J., Ramos, T.M., da Silva, D.F., Oliveira, C.P., Costa, G.B., Antonino, A.C.D., Menezes, R.S.C., Santos e Silva, C.M., Bezerra, B., 2020. Environmental and biophysical controls of evapotranspiration from Seasonally Dry Tropical Forests (Caatinga) in the Brazilian Semiarid. *Agric. For. Meteorol.* 287, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107957>
- Mbarki, S., Cerdà, A., Zivcak, M., Brestic, M., Rabhi, M., Mezni, M., Jedidi, N., Abdelly, C.,

- Pascual, J.A., 2018. Alfalfa crops amended with MSW compost can compensate the effect of salty water irrigation depending on the soil texture. *Process Saf. Environ. Prot.* 115, 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.09.001>
- Medeiros, A. s, Maia, S.M.F., Santos, T.C. dos, Gomes, T.C. de A., 2020. Soil carbon losses in conventional farming systems due to land-use change in the Brazilian semi-arid region. *Agric. Ecosyst. Environ.* 287, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106690>
- Melo, N.C., Fernandes, A. rodrigues, Galvão, J. rodrigues, 2015. Crescimento E Eficiência Nutricional Do Nitrogênio Em Cultivares De Milheto Forrageiro Na Amazônia. *Rev. Caatinga* 28, 68–78. <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n308rc>
- Molina, I.C., Angarita, E.A., Mayorga, O.L., Chará, J., Barahona-Rosales, R., 2016. Effect of *Leucaena leucocephala* on methane production of *Lucerna* heifers fed a diet based on *Cynodon plectostachyus*. *Livest. Sci.* 185, 24–29. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.01.009>
- Mostafa, H., El-Nady, R., Awad, M., El-Ansary, M., 2018. Drip irrigation management for wheat under clay soil in arid conditions. *Ecol. Eng.* 121, 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.09.003>
- Neto, A.S., Oliveira, S., Valen, L., 2015. Leguminosas adaptadas como alternativa alimentar para ovinos no semiárido – revisão. *Rev. Ciências Agroveterinárias* 14, 191–200.
- Paredes-Trejo, F.J., Barbosa, H.A., Lakshmi Kumar, T. V., 2017. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. *J. Arid Environ. J.* 139, 26–40. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.12.009>
- Pereira Junior, G., Pereira Filho, M., Roubach, R., Barbosa, P. de S., Shimoda, E., 2013. Farinha de folha de leucena (*Leucaena leucocephala* Lam. de wit) como fonte de proteína para juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum* CUVIER, 1818). *Acta Amaz.* 43, 227–234. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672013000200014>
- Pereira, P. de C., Silva, T.G.F. da, Zolnier, S., Morais, J.E.F. de, Santos, D.C. dos, 2015. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. *Rev. Caatinga* 28, 184–195. <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n321rc>
- Pereira, P.D.C., Da Silva, T.G.F., Zolnier, S., De Morais, J.E.F., Dos Santos, D.C., 2015. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. *Rev. Caatinga* 28, 184–195. <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n321rc>
- Pessoa, D.V., Andrade, A.P., Magalhães, A.L.R., Teodoro, A.L., Santos, D.C. dos, Araújo, G.G.L., Medeiros, A.N., Nascimento, D.B., Valença, R. de L., Cardoso, D.B., 2020. Forage cactus of the genus *Opuntia* in different with the phenological phase: Nutritional value. *J. Arid Environ.* 181, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104243>
- Piñeiro-Vázquez, A.T., Jiménez-Ferrer, G.O., Chay-Canul, A.J., Casanova-Lugo, F., Díaz-Echeverría, V.F., Ayala-Burgos, A.J., Solorio-Sánchez, F.J., Aguilar-Pérez, C.F., Ku-Vera, J.C., 2017. Intake, digestibility, nitrogen balance and energy utilization in heifers fed low-quality forage and *Leucaena leucocephala*. *Anim. Feed Sci. Technol.* 228, 194–201. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.04.009>
- Pinheiro, A.G., Souza, L.S.B., Jardim, A.M.R.F., Araújo Júnior, G.N., Alves, C.P., Souza, C.A.A., Leite, R.M.C., Silva, T.G.F., 2021. Lacunas de produtividades e estratégias de cultivo na melhoria da produção de forragem para a região semiárida brasileira - Revisão. *Rev. Bras. Geogr. Física* 14, 2403–2426.
- Queiroz, M.G., Silva, T.G.F., Zolnier, S., Silva, S.M.S., Lima, L.R., Alves, J.O., 2015. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 19, 931–938. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p931-938>
- Queiroz, M.G., Silva, T.G.F., Zolnier, S., Silva, S.M.S., Souza, C.A.A., Carvalho, H.F.S., 2016. Relações Hídrico-Econômicas Da Palma Forrageira Cultivada Em Ambiente Semiárido. *Irriga* 141–154. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n01p141-154>
- Queiroz, M.G., Silva, T.G.F., Zolnier, S., Jardim, A.M.R.F., Souza, C.A.A., Araújo Júnior, G.N., Morais, J.E.F., Souza, L.S.B., 2020. Spatial and temporal dynamics of soil moisture for surfaces with a change in land use in the semi-arid region of Brazil. *Catena* 188, 104457.

- <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104457>
 Quintanilla-Tornel, M.A., Wang, K.H., Tavares, J., Hooks, C.R.R., 2016. Effects of mulching on above and below ground pests and beneficials in a green onion agroecosystem. *Agric. Ecosyst. Environ.* 224, 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.03.023>
- Rocha, J.M.L., Santos, A.C., Junior, O.S., Silva, R.R., Santos, J.G.D., Oliveira, L.B.T., 2017. Características agrônomicas do milheto sob efeito de nitrogênio nos sistemas consorciado e monocultivo. *Rev. Tecnol. Ciência Agropecuária* 11, 37–43.
- Rodrigues-Corrêa, K.C.S., Honda, M.D.H., Borthakur, D., Fett-Neto, A.G., 2019. Mimosine accumulation in *Leucaena leucocephala* in response to stress signaling molecules and acute UV exposure. *Plant Physiol. Biochem.* 135, 432–440. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.11.018>
- Rodrigues, L.A., Muniz, T.A., Samarão, S.S., Cyrino, A.E., 2016. Qualidade de mudas de *Moringa oleifera* Lam. cultivadas em substratos com fibra de coco verde e compostos orgânicos. *Rev. Ceres* 63, 545–552. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663040016>
- Rosado, M.C., Araújo, G.J., Pallini, A., Venzon, M., 2021. Cover crop intercropping increases biological control in coffee crops. *Biol. Control* 160, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104675>
- Sá, M.K.N., Andrade, A.P., Magalhães, A.L.R., Valença, R.L., Campos, F.S., Araújo, F.S., Araújo, G.G.L., 2021. Silagem de palma forrageira com *Gliricidia Sepium*: alternativa alimentar para o Semiárido. *Res. Soc. Dev.* 10, e27210212473. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12473>
- Sabino, F.C., Souza, L.S.B., Souza, M.A.G., Barros, J.P.A., Lucena, L.R.R., Jardim, A.M.R.F., Rocha, A.K.P., Silva, T.G.F., 2021. Morphological characteristics, biomass accumulation and gas exchange of an important species native for restoration in Semi-arid Brazilian areas affected by salt and water stress. *Plant Stress* 2, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100021>
- Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Esmaeili, A., Hosseini, M.B., Hashemi, M., 2013. Forage yield, quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semi-arid conditions: Additive series. *F. Crop. Res.* 148, 43–48. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.03.021>
- Saini, R.K., Sivanesan, I., Keum, Y.S., 2016. Phytochemicals of *Moringa oleifera*: a review of their nutritional, therapeutic and industrial significance. *Biotech* 6, 3. <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0526-3>
- Salvador, K.R.S., Jardim, A.M.R.F., Araújo Júnior, G.N., Alves, C.P., Pinheiro, A.G., Pereira, R.C.G., Souza, L.S.B., Silva, T.G.F., 2021. Intensificação de sistemas de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas, leguminosas e oleaginosas: uma revisão. *Rev. Bras. Geogr. Física* 14, 2369–2390.
- Santos, A., Oliveira Lopes, P.M., Silva, M.V., Jardim, A.M.R.F., Moura, G.B.A., Fernandes, G.S.T., Silva, D.A.O., Silva, J.L.B., Rodrigues, J.A.M., Silva, E.A., Oliveira-Júnior, J.F., 2020. Causes and consequences of seasonal changes in the water flow of the São Francisco river in the semi-arid of Brazil. *Environ. Sustain. Indic.* 1–42. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100084>
- Santos, S.M., Farias, M.M.M.W.E.C., 2017. Potential for rainwater harvesting in a dry climate: Assessments in a semi-arid region in northeast Brazil. *J. Clean. Prod.* 164, 1007–1015. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.251>
- Sarker, K.K., Hossain, A., Timsina, J., Biswas, S.K., Malone, S.L., Alam, M.K., Loeschner, H.W., Bazzaz, M., 2020. Alternate furrow irrigation can maintain grain yield and nutrient content, and increase crop water productivity in dry season maize in sub-tropical climate of South Asia. *Agric. Water Manag.* 238, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106229>
- Schneider, J., Labory, C.R.G., Rangel, W.M., Alves, E., Guilherme, L.R.G., 2013. Anatomy and ultrastructure alterations of *Leucaena leucocephala* (Lam.) Inoculated with mycorrhizal fungi in response to arsenic-contaminated soil. *J. Hazard. Mater.* 262, 1245–1258. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.05.091>
- Shahzad, U., Khan, M.A., Jaskani, M.J., Khan, I.A., Korban, S.S., 2013. Genetic diversity and population structure of *Moringa oleifera*. *Conserv. Genet.* 14, 1161–1172.

- <https://doi.org/10.1007/s10592-013-0503-x>
- Silva, G.I.N., Jardim, A.M.R.F., Alves, H.K.M.N., Souza, M. S., Souza, C.A.A., Araújo Júnior, G.N., Alves, C.P., Pinheiro, A.G., Salvador, K.R.S., Leite, R.M.C., Costa, S.A.T., Silva, M.J., Silva, T.G.F., 2020. Cultivo de plantas forrageiras de apelo regional para o Semiárido brasileiro sob a perspectiva de técnicas agrometeorológicas para melhoria da resiliência: uma revisão. *Res. Soc. Dev.* 9, 1–40. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8291>
- Silva, H.W., Favarin, S., Andriguetti, S.C., Domiciano, D., Godinho, A.M.M., Araújo, E.B., Souza, H.O., Xavier, W.A., 2020. Desenvolvimento vegetativo, produção de biomassa e composição químico-bromatológica de gliricídia em condições de clima temperado. *Brazilian J. Dev.* 6, 847–859. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n1-059>
- Silva, T.G.F., Jardim, A.M.R.F., Diniz, W.J.S., Souza, L.S.B., Araújo Júnior, G.N., Silva, G.I.N., Alves, C.P., Souza, C.A.A., Morais, J.E.F., 2023. Profitability of using irrigation in forage cactus-sorghum intercropping for farmers in semi-arid environment. *Rev. Bras. Eng. Agric. e Ambient.* 27, 132–139. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n2p132-139>
- Simão, E.D.P., Neto, M.M.G., Santos, E.A., Wendling, I.J., 2015. Produção de biomassa e composição bromatológica de duas cultivares de milho semeadas em diferentes épocas. *Rev. Bras. Milho e Sorgo* 14, 196–206. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v14n2p196-206>
- Singh, S., Bhat, B.V., Shukla, G.P., Gaharana, D., Anele, U.Y., 2017. Nutritional evaluation of different varieties of sorghum stovers in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 227, 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.03.011>
- Soltan, Y.A., Morsy, A.S., Lucas, R.C., Abdalla, A.L., 2017. Potential of mimosine of *Leucaena leucocephala* for modulating ruminal nutrient degradability and methanogenesis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 223, 30–41. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.11.003>
- Sousa, M.G., Araujo, J.K.S., Ferreira, T.O., Andrade, G.R.P., Araújo Filho, J.C., Fracetto, G.G.M., Santos, J.C.B., Fracetto, F.J.C., Lima, G.K., Souza Junior, V., 2021. Long-term effects of irrigated agriculture on Luvisol pedogenesis in semi-arid region, northeastern Brazil. *Catena* 206, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105529>
- Sousa, P.G.R., Araújo Viana, T.V., Carvalho, C.M., Campos, K.C., Silva, F.L., Azevedo, B.M., 2019. Avaliação financeira do sorgo forrageiro no semiárido cearense. *Rev. em Agronegocio e Meio Ambient.* 12, 1465–1485. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n4p1465-1485>
- Souza, M.S., Silva, T.G.F., Souza, L.S.B., Jardim, A.M.R.F., Araújo Júnior, G.N., Alves, H.K.M.N., 2019. Practices for the improvement of the agricultural resilience of the forage production in semiarid environment: a review. *Amaz. J. Plant Res.* 3, 417–430. <https://doi.org/10.26545/ajpr.2019.b00051x>
- Srinivasarao, C., Lal, R., Kundu, S., Babu, M.B.B.P., Venkateswarlu, B., Singh, A.K., 2014. Soil carbon sequestration in rainfed production systems in the semiarid tropics of India. *Sci. Total Environ.* 487, 587–603. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.006>
- Sultana, S., 2020. Nutritional and functional properties of *Moringa oleifera*. *Metab. Open* 8, 100061. <https://doi.org/10.1016/j.metop.2020.100061>
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. max, Murphy, A., 2017. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*, 6^o. ed. Editora Artmed, Porto Alegre.
- Teetor, V.H., Schmalzel, C., Ray, D.T., 2017. Growing sweet sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] moench) in clumps potentially reduces lodging in the arid-southwestern United States. *Ind. Crops Prod.* 107, 458–462. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.05.064>
- Valdivié-Navarro, M., Martínez-Aguilar, Y., Mesa-Fleitas, O., Botello-León, A., Betancur Hurtado, C., Velázquez-Martí, B., 2020. Review of *Moringa oleifera* as forage meal (leaves plus stems) intended for the feeding of non-ruminant animals. *Anim. Feed Sci. Technol.* 260, 114338. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114338>
- Wang, J., Zhang, Y., Gong, S., Xu, D., Juan, S., Zhao, Y., 2018. Evapotranspiration, crop coefficient and yield for drip-irrigated winter wheat with straw mulching in North China Plain. *F. Crop. Res.* 217, 218–228. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.05.010>

- Wang, S., Huang, D. you, Zhu, Q. hong, Li, B. zhong, Xu, C., Zhu, H. hua, Zhang, Q., 2021. Agronomic traits and ionomics influence on Cd accumulation in various sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 214, 112019. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112019>
- Wang, Y., Li, S., Qin, S., Guo, H., Yang, D., Lam, H.M., 2020. How can drip irrigation save water and reduce evapotranspiration compared to border irrigation in arid regions in northwest China. *Agric. Water Manag.* 239, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106256>
- Yan, S., Wu, Y., Fan, J., Zhang, F., Paw U, K.T., Zheng, J., Qiang, S., Guo, J., Zou, H., Xiang, Y., Wu, L., 2020. A sustainable strategy of managing irrigation based on water productivity and residual soil nitrate in a no-tillage maize system. *J. Clean. Prod.* 262, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121279>
- Yang, D., Li, S., Kang, S., Du, T., Guo, P., Mao, X., Tong, L., Hao, X., Ding, R., Niu, J., 2020. Effect of drip irrigation on wheat evapotranspiration, soil evaporation and transpiration in Northwest China. *Agric. Water Manag.* <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106001>
- Yavuz, D., Seymen, M., Süheri, S., Yavuz, N., Türkmen, Ö., Kurtar, E.S., 2020. How do rootstocks of citron watermelon (*Citrullus lanatus* var. *citroides*) affect the yield and quality of watermelon under deficit irrigation? *Agric. Water Manag.* 241, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106351>
- Yilmaz, Ş., Özel, A., Atak, M., Erayman, M., 2014. Effects of seeding rates on competition indices of barley and vetch intercropping systems in the eastern mediterranean. *Turkish J. Agric. For.* 39, 135–143. <https://doi.org/10.3906/tar-1406-155>
- Yin, W., Chai, Q., Zhao, C., Yu, A., Fan, Z., Hu, F., Fan, H., Guo, Y., Coulter, J.A., 2020. Water utilization in intercropping: A review. *Agric. Water Manag.* 241, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106335>
- Zegada-Lizarazu, W., Parenti, A., Monti, A., 2021. Intercropping grasses and legumes can contribute to the development of advanced biofuels. *Biomass and Bioenergy* 149, 106086. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106086>
- Zhang, Y., Qiao, L., Chen, C., Tian, L., Zheng, X., 2021. Effects of organic ground covers on soil moisture content of urban green spaces in semi-humid areas of China. *Alexandria Eng. J.* 60, 251–259. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.08.001>
- Zhao, G., Kuang, G., Wang, Y., Yao, Y., Zhang, J., Pan, Z.H., 2020. Effect of steam explosion on physicochemical properties and fermentation characteristics of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Lwt* 129, 109579. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109579>