

Indicadores de eficiência biológica e habilidade competitiva em sistemas consorciados de plantas forrageiras xerófilas: uma revisão

Biological efficiency indicators and competitive ability in intercropped systems of xerophilous forage plants: a review

Indicadores de eficiencia biológica y capacidad competitiva en sistemas intercalados de plantas forrajeras xerófilas: una revisión

Recebido: 26/10/2022 | Revisado: 08/11/2022 | Aceitado: 09/11/2022 | Publicado: 16/11/2022

Raul Caco Alves Bezerra

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6324-9362>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: raulcacoalvesbezerra@hotmail.com

Agda Raiany Mota dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9485-2786>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: agdaraiany8@gmail.com

Lana Raissa Barros Alves Cordeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9421-8913>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: lanarai.lr@gmail.com

Jamiles Carvalho Gonçalves de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0999-2478>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: jamilesdesouza28@gmail.com

Daniel Bezerra do Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6704-2289>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: danielbnascimento17@gmail.com

Jean Carlos Nogueira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2637-8381>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: jeancarlos100034@gmail.com

Jefferson dos Santos Gomes Calaça

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7847-3658>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: jefferson.gomes.calaca@gmail.com

Glícia Rafaela Freitas da Fonsêca

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-6169>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: glicia21@outlook.com

Leandro Ricardo Rodrigues de Lucena

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6985-7668>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: leandroricardo_est@yahoo.com.br

Maurício Luiz de Mello Vieira Leite

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4241-241X>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: nopalea21@yahoo.com.br

Resumo

Nas regiões áridas e semiáridas é indispensável à busca de estratégias que favoreçam o cultivo de plantas forrageiras, como a utilização de espécies forrageiras resistentes ou tolerantes às condições climáticas locais, assim como o uso de práticas de manejo, como o consórcio de culturas, devido a pecuária ser a principal atividade econômica desenvolvida nessas regiões. O consórcio promove um aumento na produtividade das plantas cultivadas por área, no entanto, quando consorciadas, ocorre competição interespecífica entre as culturas, diminuindo o rendimento individual das plantas. Nesse sentido, esta revisão objetivou explicitar conceitos e aplicabilidade dos indicadores de eficiência biológica e habilidade competitiva de consórcios de plantas forrageiras xerófilas, para melhorar a eficiência e o manejo desses sistemas. Para realização desta revisão, foram feitas buscas nas bases de dados: Google Acadêmico, Periódicos CAPES, SciELO e Scopus. O cultivo de plantas forrageiras xerófilas é uma alternativa para garantir oferta

de alimento de qualidade e em quantidade para os animais em ambientes áridos e semiáridos ao longo do ano, principalmente no período de estiagem. A aplicação dos índices biológicos e habilidade competitiva em sistemas consorciados auxilia no entendimento das relações interespecíficas entre as culturas consorciadas, bem como os benefícios econômicos e aspectos essenciais de cultivo.

Palavras-chave: Consórcio; Configurações de cultivo; Palma forrageira; Semiárido.

Abstract

In arid and semi-arid regions, it is essential to search for strategies that favor the cultivation of forage plants, such as the use of forage species that are resistant or tolerant to local climatic conditions, as well as the use of management practices, such as intercropping, due to livestock is the main economic activity developed in these regions. The consortium promotes an increase in the productivity of plants cultivated by area, however, when intercropped, there is interspecific competition between the cultures, reducing the individual yield of the plants. In this sense, this review aimed to explain concepts and applicability of indicators of biological efficiency and competitive ability of consortia of xerophilous forage plants, to improve the efficiency and management of these systems. To carry out this review, searches were carried out in the following databases: Google Scholar, CAPES Periodicals, SciELO and Scopus. The cultivation of xerophilous forage plants is an alternative to guarantee the supply of quality and quantity food for animals in arid and semi-arid environments throughout the year, especially in the dry season. The application of biological indices and competitive ability in intercropped systems helps to understand the interspecific relationships between intercropped crops, as well as the economic benefits and essential aspects of cultivation.

Keywords: Consortium; Crop settings; Forage cactus; Semiarid.

Resumen

En regiones áridas y semiáridas es fundamental buscar estrategias que favorezcan el cultivo de plantas forrajeras, como el uso de especies forrajeras resistentes o tolerantes a las condiciones climáticas locales, así como el uso de prácticas de manejo, tales como como el cultivo intercalado, debido a que la ganadería es la principal actividad económica que se desarrolla en estas regiones. El consorcio promueve un aumento en la productividad de las plantas cultivadas por área, sin embargo, cuando se intercalan, hay competencia interespecífica entre los cultivos, reduciendo el rendimiento individual de las plantas. En ese sentido, esta revisión tuvo como objetivo explicar conceptos y aplicabilidad de indicadores de eficiencia biológica y capacidad competitiva de consorcios de plantas forrajeras xerófilas, para mejorar la eficiencia y manejo de estos sistemas. Para llevar a cabo esta revisión, se realizaron búsquedas en las siguientes bases de datos: Google Scholar, CAPES Periodicals, SciELO y Scopus. El cultivo de plantas forrajeras xerófilas es una alternativa para garantizar el abastecimiento de calidad y cantidad de alimentos para los animales en ambientes áridos y semiáridos durante todo el año, especialmente en la época seca. La aplicación de índices biológicos y capacidad competitiva en sistemas intercalados ayuda a comprender las relaciones interespecíficas entre cultivos intercalados, así como los beneficios económicos y aspectos esenciales del cultivo.

Palabras clave: Consorcio; Ajustes de cultivo; Nopal forrajero; Semiárido.

1. Introdução

O agronegócio contribui positivamente para o equilíbrio da balança comercial do Brasil (Lima et al., 2022), com destaque para a pecuária, setor de crescente participação, com o aumento da população, há uma elevada demanda por produtos forrageiros para suprir a alimentação animal, e conseqüentemente humana, principalmente nas regiões semiáridas (Alves et al., 2018; Zhang et al., 2019).

A pecuária é a principal atividade econômica desenvolvida no Semiárido brasileiro, devido ao menor risco em comparação à agricultura de sequeiro, por causa da irregularidade da precipitação pluvial ao longo do ano (Meira et al., 2021). No entanto, o baixo desempenho dos rebanhos é refletido em função das carências nutricionais a que estão expostos (Leite et al., 2014).

A produção de alimentos para os rebanhos constitui no maior desafio que a pecuária enfrenta nas regiões semiáridas, em função da sazonalidade climática, dificultando o cultivo de espécies forrageiras (Oliveira et al., 2021). Nesse sentido, torna-se indispensável à busca por alternativas que favoreçam o cultivo de plantas forrageiras nessas regiões, como a utilização de espécies forrageiras resistentes ou tolerantes às condições climáticas locais, assim como o uso de práticas de manejo, como o consórcio de culturas, para maior aproveitamento das áreas agrícolas (Campos et al., 2017).

O consórcio promove um aumento na produtividade das plantas cultivadas por área, entretanto, quando consorciadas, ocorre competição interespecífica entre as culturas, diminuindo o rendimento individual das plantas (Sadeghpour et al., 2013).

Logo, a aplicação de índices de eficiência biológica em sistemas consorciados é usada para auxiliar na compreensão dos benefícios e manejo ideal de plantio (Sadeghpour et al., 2013; Chimonyo et al., 2018), bem como a utilização de índices de habilidade competitiva, contribuindo no entendimento da efetividade do sistema consorciado na determinação da cultura dominante (Souza et al., 2022).

Nesta revisão objetivou-se explicitar conceitos e aplicabilidade dos indicadores de eficiência biológica e habilidade competitiva de consórcios de plantas forrageiras xerófilas, para melhorar a eficiência e o manejo desses sistemas.

2. Metodologia

Para esta revisão narrativa, foi realizada uma pesquisa descritiva de cunho qualitativo e informativo, sobre: *Quais os indicadores de eficiência biológica e habilidade competitiva em sistemas consorciados de plantas forrageiras xerófilas e suas aplicabilidades?* utilizando fonte secundária, sendo o tipo de pesquisa bibliográfica empregada para o desenvolvimento desta revisão. Estudos relacionados em informações qualitativas ajudam de forma expressiva para efetuação de evidências científicas sobre determinado assunto (Silva et al., 2021).

Na literatura, foram realizadas buscas nas bases de dados do Google Scholar, Periódicos CAPES e SciELO e Scopus, no entanto, para uma melhor precisão da busca, também se utilizou dados e/ou informações de livros e publicações científicas disponíveis na internet. Para facilitar as buscas foram utilizadas palavras-chave como: “Indicadores de eficiência biológica”, “Indicadores de habilidade competitiva”, “Indicadores econômicos”, “custos econômicos”, “viabilidade de sistemas consorciados”, “plantas forrageiras”, “plantas forrageiras xerófilas” e “Semiárido brasileiro”, em português e inglês, combinadas ou não com os termos booleanos “e” e “ou”.

Os Critérios de elegibilidade (inclusão e exclusão) foram utilizados para selecionar os artigos científicos encontrados (Tabela 1). No critério de inclusão foram consideradas relevantes as publicações que tivessem título e/ou combinação de palavras chaves relacionada aos indicadores de eficiência biológica e habilidade competitiva em sistemas consorciados e plantas forrageiras xerófilas utilizadas na alimentação animal do período de 2012 a 2022, ou seja, nos últimos 10 anos, desde que fossem completos e publicados em português ou inglês. Nos critérios de exclusão, foram apontados os que não atenderam ao objetivo do assunto, não estavam dentro da margem do período descrito, eram artigos incompletos para a realização da pesquisa e não estavam dentro do idioma determinado.

Tabela 1 - Critérios de elegibilidade utilizados.

Critérios	
Inclusão	Exclusão
Título e/ou combinação de palavras chaves relacionada ao tema	Título e/ou combinação de palavras chaves não relacionada ao tema
Publicações dos últimos 10 anos	Publicações a mais de 10 anos
Artigos completos	Artigos incompletos
Artigos em português ou inglês	Artigos não publicado em português ou inglês

Fonte: Autores (2022).

A elaboração desta revisão seguiu quatro etapas, que englobaram: busca dos periódicos nas bases de dados científicas (1), seleção dos artigos científicos (2), verificação de título e palavras-chave (3) e inclusão dos artigos científicos (4) (Santos et al., 2021).

3. Caracterização do Semiárido Brasileiro

As regiões áridas e semiáridas abrangem aproximadamente 55% do globo terrestre, englobando países da América Latina e Caribe, como Brasil, Chile, Argentina e México, com dimensão em torno de 313 milhões de hectares (Hussain et al., 2018). Segundo a classificação de Köppen o clima semiárido apresenta três principais classificações: BShw' – verão e outono chuvoso, com chuvas concentradas nos meses de março e abril, BSht' – altas precipitações pluviais no inverno e outono, sendo maio e junho mais chuvoso e BShw – verão chuvoso e precipitações pluviais concentradas nos meses de dezembro e janeiro (Pereira Filho et al., 2013; Oliveira Júnior et al., 2021).

Essas regiões possuem como características marcantes elevadas temperaturas do ar, altas taxas de evapotranspiração potencial e baixos índices pluviométricos, com uma grande variabilidade temporal e espacial de precipitação pluvial ao longo do ano e entre os anos, sendo esses, fatores limitantes para o estabelecimento e desenvolvimento das culturas, principalmente para os cultivos em sequeiro (Zhang et al., 2019; Silva et al., 2020).

A região semiárida do Brasil apresenta uma extensão territorial em torno de 982.566 km², que corresponde em média a 18,2% do país, com precipitação pluvial anual variando de 400 a 800 mm (Moura et al., 2019). Essa região é predominada pelo bioma Caatinga, ecologicamente rica com inúmeras espécies endêmicas, com uma vegetação composta por plantas xerófilas (Queiroz et al., 2020).

O Semiárido brasileiro é composto por 1.262 municípios dos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe (Figura 1) (SUDENE, 2021). Considerada a mais populosa e extensa de toda a América Latina, com aproximadamente 22 milhões de habitantes (Santos & Farias, 2017; Silva et al., 2020).

Figura 1 - Delimitação do Semiárido brasileiro.



Fonte: SUDENE (2021).

Nesse contexto, pesquisas voltadas a utilização de cultivos resilientes em regiões semiáridas se tornam cruciais, visando uma potencialização na eficiência e sustentabilidade das culturas. Essas práticas favorecem o desenvolvimento da agricultura nas condições climáticas da região, otimizando os recursos naturais disponíveis, com o uso de práticas de resiliência, salientando-se o uso de plantas adaptadas assim como manejo adequado de cultivo (e.g, adensamento, adubação, irrigação, etc.) (Rai et al., 2018).

4. Potencial Forrageiro da Caatinga

A Caatinga do Semiárido brasileiro ocupa uma área de aproximadamente 844.453 km², correspondendo a 11% do território nacional, apresentando uma grande variedade de espécies botânicas com potencial forrageiro, especialmente no período chuvoso. A palavra “caatinga” tem origem Tupi-Guarani, que significa "mata branca", referente à paisagem esbranquiçada da vegetação, adaptada à seca e aos ciclos climáticos locais (Filizola & Sampaio, 2015).

A capacidade de suporte da Caatinga e a presença de plantas com aptidão forrageira são influenciadas pelas condições edafoclimáticas, que proporcionam variações de disponibilidade de fitomassa e valor nutritivo ao longo do ano. Nos sistemas pecuários desenvolvidos nesse bioma, a principal base alimentar se constitui de pastagens nativas, compondo cerca de 90% da dieta consumida pelos animais. Todavia, a baixa precipitação pluvial favorece a sazonalidade da distribuição de espécies forrageiras durante o ano (Rogério et al., 2020).

A produtividade de forragem dos pastos nativos é decorrente dos estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo. A pastagem nativa do semiárido apresenta uma produtividade média de 4.000 kg/ha/ano de massa seca, apresentando grandes variações anuais (Pereira Filho et al., 2013). Com uma grande variação na disponibilidade de forragem das plantas nativas da Caatinga ao longo do ano, outras plantas forrageiras cultivadas vêm sendo utilizadas na alimentação animal, bem como o uso de práticas resilientes, como alternativa para oferta de forragem nos períodos de seca (Campos et al., 2017). Nesse sentido, a produção animal a partir da vegetação da Caatinga, sem comprometer a sua sustentabilidade, ainda se mostra como um grande desafio para os pecuaristas.

Uma das principais alternativas para o Semiárido brasileiro é a utilização de plantas nativas em consorciação com plantas cultivadas, tolerantes às condições climáticas locais, juntamente com a conservação de forragens no período das chuvas, na forma de feno ou silagem, para poder suprir a necessidade dos ruminantes no período de estiagem (Campos et al., 2017).

5. Plantas Forrageiras Xerófilas

A xerofilia é um termo utilizado para designar as plantas que conseguem viver em ambientes secos, possuindo características morfofisiológicas adquiridas ao longo do seu processo evolutivo, que proporciona o estabelecimento e desenvolvimento dessas espécies nesses ambientes (Queiroz et al., 2020).

As plantas xerófilas são espécies adaptadas aos ambientes semiáridos, tolerantes ao déficit hídrico e altas temperaturas (Queiroz et al., 2020; Ferreira et al., 2020; Sabino et al., 2021). Conforme o modo como conseguem sobreviver, podem ser classificadas como: efêmeras, suculentas e lenhosas. As efêmeras são as plantas cujo ciclo vegetativo não ultrapassa algumas semanas ou meses, utilizando a estação chuvosa para completar todos os estádios fenológicos. As suculentas são plantas com caules e folhas carnosas, como as cactáceas perenes a exemplo da palma forrageira e do mandacaru. As xerófilas lenhosas são as árvores e os arbustos, plantas perenes e caducifólias (Almeida et al., 2019). Quanto às estratégias de sobrevivência, as plantas xerófitas podem apresentar dois tipos principais: fuga à seca (plantas anuais e efêmeras) e resistência à seca (tolerantes ao déficit hídrico) (Santos et al., 2021).

Essas plantas apresentam inúmeras características morfoanatômicas e mecanismos de adaptações para sobreviver às condições áridas e semiáridas, tais como: estruturas subterrâneas (i.e., presença de tubérculos ou xilopódios, que apresentam tecidos armazenadores de água, e sistema radicular bem desenvolvido), estruturas foliares (e.g., redução da lâmina foliar, folhas modificadas em espinhos, pubescência, presença de cera, cutícula foliar espessa e impermeável, várias camadas de parênquima paliádico, esclerênquima desenvolvido, estômatos em cripta, hipoderme e parênquima aquífero), além de parede celular espessa (principalmente na epiderme), elevada relação superfície-volume e menor volume de espaços intercelulares, causando compactação do mesofilo, eficiência no uso de água, caules suculentos e queda das folhas na estação seca

(caducifolia) (Santos et al., 2021). A perda das folhas é uma adaptação para reduzir a perda de água por transpiração, e raízes bem desenvolvidas aumentam a capacidade de obter água do solo. Além disso, algumas plantas armazenam água, como os cactos, outras se caracterizam por terem raízes praticamente na superfície do solo para absorver o máximo de água das chuvas. Todas essas adaptações conferem um aspecto característico denominado xeromorfismo (Almeida et al., 2019).

Segundo Almeida et al. (2019), as principais plantas forrageiras xerófilas cultivadas no Semiárido brasileiro são a palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) e o capim buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), como também espécies com potencial de serem cultivadas para produção de forragem, a exemplo do mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.) e maniçoba (*Manihot* spp.) (Figura 2).

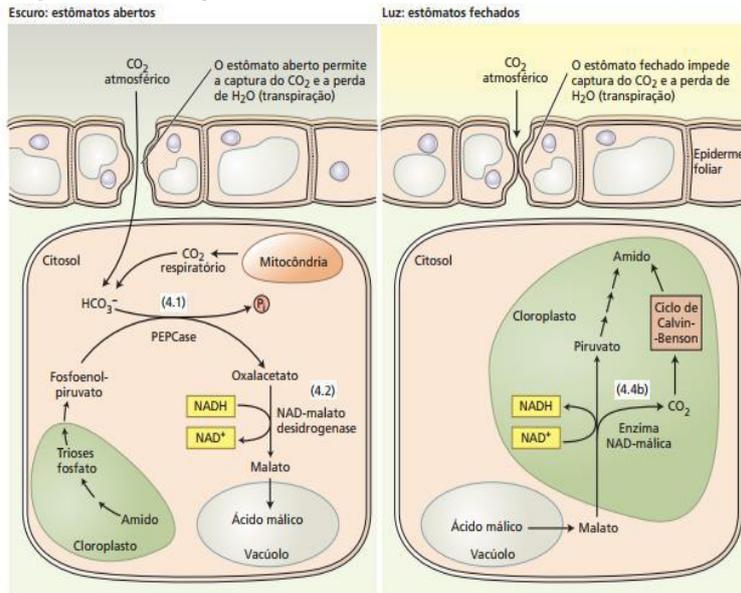
Figura 2 - Plantas forrageiras xerófilas cultivadas no Semiárido brasileiro: palma Doce Miúda (A), palma Orelha De Elefante Mexicana (B), mandacaru (C), maniçoba (D) e capim-buffel (E).



Fonte: Autores (2022).

Entre essas espécies, a que mais vem se destacando nessa região para alimentação animal, principalmente nos períodos críticos do ano, é a palma forrageira, adaptada às condições climáticas da região, devido à presença do metabolismo ácido das crassuláceas (MAC) (Figura 3), o que a torna eficiente na utilização da água, além disso, apresenta altos teores de carboidratos solúveis, minerais, vitaminas e alta digestibilidade (Bezerra et al., 2015; Jardim et al., 2021a; Cirino Junior et al., 2022).

Figura 3 - Ilustração do metabolismo ácido das crassuláceas (MAC).



Fonte: Taiz et al. (2017).

A determinação da planta forrageira xerófila para cultivo no Semiárido brasileiro, principalmente para as áreas com registro histórico de baixíssimas precipitações, deve-se levar em consideração aspectos como a capacidade do vegetal em resistir à seca, fenologia, características agrônômicas e bromatológicas (Almeida et al., 2019).

Diante desse contexto, as plantas xerófilas perenes devido suas características de adaptabilidade mostram-se como uma forte alternativa para serem cultivadas em ambiente de condições áridas e semiáridas para o suprimento de alimentação animal ao longo do ano, como forma de reduzir os riscos de perda da produção de forragem decorrente da sazonalidade climática (Almeida et al., 2019; Cirino Junior et al., 2022).

6. Sistemas Consorciados

Os sistemas de consorciação são caracterizados como uma prática agrícola de conservação que intenciona o melhor aproveitamento do solo em longo prazo, bem como o cultivo no qual se utiliza mais de uma espécie vegetal na mesma área e no mesmo período de tempo (Souza et al., 2018). Essa técnica permite maiores retornos produtivos, resultante de uma maior eficiência na utilização dos recursos naturais (i.e., água, luz e nutrientes) quando comparado ao cultivo exclusivo das espécies (Jiao et al., 2021; Jardim et al., 2021a).

A consorciação contribui também no controle biológico de pragas e doenças, devido a maior diversidade de espécies na área, proporciona diminuição da incidência de erosão nas áreas, maior cobertura do solo e menor perda de água por meio da evaporação, minimiza a infestação de plantas daninhas, enriquece a vida biológica do solo, otimiza a mão de obra, promove estabilidade alimentar para os rebanhos, diversidade de alimentos e fontes de renda para as famílias (Javanmard et al., 2020).

O uso de cultivos consorciados vem sendo muito incentivado nas regiões semiáridas, devido propiciarem um melhor aproveitamento por área, havendo maiores rendimentos por meio da cooperação mútua das culturas (Figura 4) (Masvaya et al., 2017). A produção de fitomassa, por unidade de área em condição de consórcio, é elevada, havendo otimização dos recursos disponíveis no local, minimiza as perdas de produção, especialmente em áreas com baixíssimos níveis pluviométricos anuais (Amorim et al., 2017). Nesse sentido, para a maximização na produtividade de cultivos de plantas forrageiras e maior eficiência no uso da terra, o cultivo consorciado é uma alternativa promissora e bastante viável, principalmente em regiões semiáridas (Lima et al., 2018; Jardim et al; 2021a).

Figura 4. Exemplo de consórcio com palma Orelha de Elefante Mexicana e maniçoba.



Fonte: Autores (2022).

Na literatura há inúmeras pesquisas desenvolvidas em sistemas consorciados com plantas forrageiras, objetivando a otimização e aumento de produtividade por área (Diniz et al., 2017; Lima et al., 2018; Javanmard et al., 2020; Jardim et al., 2021a; Araújo Júnior et al., 2021, Souza et al., 2022).

No entanto, para a obtenção de maiores rendimentos nos sistemas consorciados, deve-se levar em consideração a escolha de espécies que se complementam, o arranjo do cultivo, espaçamento e densidade populacional, para que as culturas persistam no sistema e alcancem seu potencial produtivo (Carvalho, 2017; Salvador et al., 2021).

7. Indicadores de Eficiência Biológica

Embora o consórcio seja uma estratégia promissora, há ocorrência de competição interespecífica das culturas, o que causa alterações no seu crescimento e desenvolvimento, devido ao efeito de fatores bióticos e abióticos no ambiente de cultivo e na fotossíntese líquida e partição da matéria seca (Chimonyo et al. 2018; Jiao et al., 2021; Jardim et al., 2021a). No entanto, entender o desempenho de crescimento das plantas contribui na identificação dos fatores que limitam a produção de forragem e auxilia na adaptação das práticas de manejo (Jardim et al., 2021b).

A aplicação de índices de eficiência biológica em sistemas de cultivo consorciado ajuda a entender a competitividade das culturas, os benefícios econômicos e as configurações ideais de cultivo (Sadeghpour et al., 2013; Chimonyo et al., 2018; Jardim et al., 2021a). Vale ressaltar, que para calcular a eficiência biológica e a capacidade competitiva em sistemas consorciados são utilizados dados de massa seca (MS) das culturas (Diniz et al., 2017).

Diante desse pressuposto, os índices de eficiência biológica para verificar o desempenho dos sistemas consorciados são determinados pelo uso eficiente da terra (UET), razão de área equivalente no tempo (RAET), coeficiente equivalente da terra (CET) e índice de produtividade do sistema (IPS), sendo os mesmos calculados conforme as Equações 1, 2, 3 e 4, respectivamente (Yilmaz et al., 2015; Liu et al., 2018; Jardim et al., 2021a).

O UET corresponde ao aproveitamento da área relativa de terra, analisando a eficiência biológica das culturas em um sistema exclusivo e consorciado.

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

em que, “a” representa a cultura principal e “b” a cultura secundária, e os valores de Y_{ab} e Y_{aa} correspondem, respectivamente, ao rendimento da cultura principal em cultivo consorciado e exclusivo. Já, o Y_{ba} e Y_{bb} são pertencentes à produtividade da cultura secundária em sistema consorciado e exclusivo, respectivamente. Desse modo, quando $UET > 1$,

verifica-se que existe vantagem do cultivo consorciado em relação ao exclusivo. Todavia, se o resultado do $UET = 1$, não há vantagem produtiva, e quando a $UET < 1$, tem desvantagem ao consorciar (Yilmaz et al., 2015; Diniz et al., 2017; Jardim et al., 2021a). Em consórcio de palma forrageira com sorgo, Diniz et al. (2017) encontraram valor de UET de 1,51, mostrando que houve vantagem do consórcio. Resultados semelhantes também foram encontrados por Souza et al. (2022), que obtiveram UET de 1,42 em consórcio de palma forrageira-milheto com uso de cobertura morta.

A $RAET$ proporciona uma verificação mais precisa, comparando a relação temporal entre as espécies consorciadas, da implantação até colheita das culturas, sendo assim, mais apropriada que UET , que não considera o fator tempo.

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

onde, o UET_a e t_a referem-se, ao uso eficiente da terra e duração do ciclo da cultura principal. Enquanto que, a UET_b e t_b , se refere a utilização eficiente da terra e tempo em dias da duração do ciclo da cultura secundária. O T_{ab} é o tempo total do sistema consorciado em dias. Sendo a $RAET > 1$, existe vantagem ao implantar um cultivo consorciado, logo, se $RAET = 1$, não há vantagem, ressaltando que tanto o sistema exclusivo como o consorciado pode ser implantado. E quando a $RAET < 1$, ocorre desvantagem do sistema consorciado em relação ao sistema exclusivo. O tempo em que as culturas ficam dispostas em campo é de crucial importância na economia do sistema de cultivo, pois quanto mais as culturas prolongam o tempo de colheita, mais suscetíveis ficam às condições climáticas, pragas e doenças (Diniz et al., 2017; Jardim et al., 2021a). Em cultivo de clones de palma forrageiras com cultivares de sorgo, Jardim et al. (2021a) obtiveram valores da $RAET$ superiores a 1, relatando assim vantagem no consórcio.

O CET consiste na verificação do uso da eficiência da terra das culturas consorciadas, analisando se há vantagem em consorciar.

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

em que, o $CET > 0,25$ caracteriza vantagem produtiva em sistema consorciado, já que o coeficiente produtivo mínimo é de 25%. O resultado positivo deste índice resalta que o sistema consorciado tem maiores vantagens econômicas, quando comparado ao sistema exclusivo (Diniz et al., 2017; Jardim et al., 2021a). Egbe (2010) constatou valor médio de 0,86 para o CET em cultivo de sorgo com soja em sistema consorciado, indicando superioridade de rendimento do consórcio em relação ao monocultivo.

O IPS é utilizado para padronizar a produtividade da cultura secundária com a cultura principal (Sadeghpour et al., 2013; Diniz et al., 2017; Jardim et al., 2021a). Souza et al. (2022) utilizaram o IPS para igualar a produtividade do milho (34,3 Mg MS ha⁻¹) à da palma forrageira (23,8 Mg MS ha⁻¹), verificaram estabilidade no rendimento do sistema consorciado, ou seja, o IPS foi superior à produtividade da palma em sistema exclusivo, afirmando a utilização do sistema consorciado para produção de forragem.

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

Esses índices são de suma importância 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, aumentando a eficiência da

utilização dos recursos naturais disponíveis e maximização da produtividade por área (Gitari et al., 2020; Jardim et al., 2021a)

8. Habilidade Competitiva de Sistemas Consorciados

Os índices de habilidade competitiva dos sistemas consorciados são caracterizados pelo coeficiente de adensamento relativo (CAR), agressividade (A), perda ou ganho atual de rendimento (PGAR) e razão de competitividade (RC). São calculados, respectivamente, conforme as Equações 5, 6, 7 e 8 (Diniz et al., 2017; Xiao et al., 2018; Jardim et al., 2021a, Souza et al., 2022).

O CAR analisa o sistema relacionando a proporção de plantio com o rendimento das culturas.

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

onde, X_{ab} é a proporção de plantio da cultura principal em consórcio; X_{ba} é a proporção de plantio da cultura secundária em consorciação com a cultura principal. Se o resultado dos dois coeficientes, $CAR = (CAR_{ab} \times CAR_{ba}) > 1$, há vantagem no rendimento do sistema consorciado quando relacionado com o sistema exclusivo, se $CAR = 1$, não existe vantagem produtiva, e se $CAR < 1$, há desvantagem em consorciar. Quando $CAR_{ab} > CAR_{ba}$, demonstra que a planta principal é mais competitiva em relação a secundária (Diniz et al., 2017; Jardim et al., 2021a). Valores do $CAR > 1$ foram observados por Oseni (2010) em sistema de consorciação entre milho e feijão caupi, verificando assim vantagem produtiva no consórcio.

A agressividade (A) determina a competição interespecífica no consórcio através dos rendimentos das culturas, sendo essa, uma importante ferramenta para avaliar habilidade de uma cultura associada com outra.

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

sendo $A_{ab} > 0$, a cultura principal é dominante em relação à secundária, e se $A_{ab} < 0$, a espécie secundária é predominante sobre a principal (Sadeghpour et al., 2013), no entanto, se $A_{ab} = 0$, ambas as culturas são igualmente competitivas. É importante que na escolha das espécies, a agressividade não seja tão desigual, para que as culturas não sofram supressão, pois a elevada supressão pode ocasionar morte elevada do estande das plantas (Jardim et al., 2021a). Yilmaz et al. (2015) verificaram em consórcio de cevada com ervilhaca valor de $A_{ab} > 0$, indicando que a cevada foi a espécie dominante no consórcio cevada-ervilhaca.

A PGAR refere-se a perda ou ganho proporcional de rendimento no sistema consorciado em relação ao sistema exclusivo.

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

em que, se o $PGAR > 0$, existe vantagem do sistema consorciado sobre o exclusivo, porém, se $PGAR < 0$, ocorre desvantagem em consorciar (Diniz et al., 2017; Jardim et al., 2021a). A PGAR positiva foi obtida em consórcio de milho com feijão comum por Yilmaz et al. (2008), constatando assim que houve superioridade produtiva do sistema consorciado sobre o exclusivo.

A RC mensura o grau que uma cultura disputa com a outra, considerando a produtividade das culturas em sistema consorciado e exclusivo, bem como a área de cultivo usada por ambas.

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

quando, o $RC < 1$, há vantagem para se consorciar, todavia, se o $RC > 1$, há uma maior competitividade entre as culturas, quando comparado ao cultivo exclusivo, indicando desvantagem em consorciar (Sadeghpour et al., 2013; Jardim et al., 2021a). Souza et al. (2022) observaram em consórcio palma forrageira-milheto valores da $RC > 1$ para palma forrageira, e valores mais baixos da RC para o milho, demonstrando a dominância da palma sobre o milho no consórcio.

Esses fatores de habilidade competitiva são cruciais no aumento de produtividade das culturas (Diniz et al., 2017; Jardim et al., 2021a, Souza et al., 2022).

9. Índice Econômico

Os custos econômicos para verificar a viabilidade dos sistemas consorciados podem ser determinados utilizando o índice de vantagem monetária (IVM), de acordo com a Equação 9 (Baxevanos et al., 2017; Diniz et al., 2017; Jardim et al., 2021a):

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

onde, a RL é a receita líquida do consórcio ($R\$ \text{ ha}^{-1}$), logo, quanto maior o IVM, mais lucrativo é o sistema consorciado. Em consórcio de milho com leguminosas, Javanmard et al. (2020) obtiveram vantagens econômicas no sistema consorciado em comparação ao exclusivo.

10. Considerações Finais

O cultivo de plantas forrageiras xerófilas é uma alternativa para garantir oferta de alimento de qualidade e em quantidade para os animais em ambientes áridos e semiáridos ao longo do ano, principalmente no período de estiagem.

O uso de sistema consorciado é uma estratégia promissora que permite maiores índices produtivos, devido uma maior eficiência na utilização da água, radiação e nutrientes, propicia também controle biológico de pragas e doenças, devido a maior diversidade de espécies na área, diminuição da incidência de erosão nas áreas, maior cobertura do solo, menor infestação de plantas daninhas, enriquece microbiota do solo, otimiza a mão de obra, estabilidade e diversidade alimentar para os rebanhos, e geração de renda para as famílias.

A aplicação dos índices de eficiência biológica e habilidade competitiva em sistemas consorciados contribui no entendimento das relações interespecíficas entre as culturas consorciadas, bem como os benefícios econômicos e aspectos essenciais de cultivo, podendo auxiliar produtores em tomada de decisão e pesquisadores em futuras pesquisas com consórcio, pois podem ser aplicados em qualquer parte do mundo, independentemente das condições climáticas e de solo, aumentando a eficiência da utilização dos recursos naturais disponíveis e produtividade por área.

Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Código Financeiro 001) pela concessão da bolsa de estudo.

Referências

- Almeida, I. V. B. D., Souza, J. T. A., & Batista, M. C. (2019). Melhoramento genético de plantas forrageiras xerófilas: Revisão. *Pubvet*, 13, 153.
- Alves, D. F.; Rebouças Filho, P. J.; & Costa, P. V. M. (2018). Correlação entre a Inflação e a Exportação de carne bovina no Brasil de 2000 a 2015. *Revista Brasileira de Geografia Econômica*, 13, 1-15.
- Amorim, D. M. Silva, T. G. F., Pereira, P. C., Souza, L. S. B., & Minuzzi, R. B. (2017). Phenophases and cutting time of forage cactos under irrigation and cropping systems. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 47, 62-71.
- Araújo Júnior, G. D. N., Silva, T. G. F. D., Souza, L. S. B. D., Souza, M. D. S., Araújo, G. G. L. D., Moura, M. S. B. D., & Alves, H. K. M. N. (2021). Productivity, bromatological composition and economic benefits of using irrigation in the forage cactus under regulated deficit irrigation in a semiarid environment. *Bragantia*, 80.
- Baxevanos, D., Tsialtas, I. T., Vlachostergios, D. N., Hadjigeorgiou, I., Dordas, C., & Lithourgidis, A. (2017). Cultivar competitiveness in pea-oat intercrops under Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 214, 94–103.
- Bezerra, S. A. F., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Moura, M. S. B., Morais, J. E. F., Diniz, W. J. S., & Queiroz, M. G. (2015). Demanda hídrica bruta da Palma Forrageira em cenários futuros de mudanças climáticas no Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8, 1628–1643.
- Campos, F. S.; Gois, G. C.; Vicente, S. L. A.; Macedo, A.; & Matias, A. G. S. (2017). Alternativa de forragem para caprinos e ovinos criados no semiárido. *Nutritime Revista Eletrônica*, 14 (2), 5004-5013.
- Carvalho, R. T. L. (2017). Alimentos e alimentação de caprino-ovinocultura no Brasil. *Revista Ciência Rural*, 36 (5), 87-94.
- Chimonyo, V. G. P., Modi, A. T., & Mabhaudhi, T. (2018). Sorghum radiation use efficiency and biomass partitioning in intercrop systems. *South African Journal of Botany*, 118, 76-84.
- Cirino Junior, B. C., Leite, M. L. M. V., Silva, F. E., Alves, C. P., Oliveira, A. C., & Silva Eugênio, D. (2022). Crescimento inicial de clones de palma forrageira submetidos a níveis de adubação potássica. *Ciência Animal Brasileira*, 23 (1).
- Diniz, W. J. S., Silva, T. G. F., Ferreira, J. M. S., Santos, D. C., Moura, M. S. B., Araújo, G. G. L., & Zolnier, S., (2017). Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 52, 724–733.
- Egbe, O. M. (2010). Effects of plant density of intercropping soybean with tall sorghum on competitive ability of soybean and economic yield at Otobi, Benue State, Nigeria. *Journal of Cereal and Oilseeds*, 1 (1), 1-10.
- Ferreira, T. R., Silva, B. B. D., Moura, M. S. B. De., 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. *Agricultural and Forest Meteorology*, 291, 108052.
- Filizola, B. C., Sampaio, M. B. (2015). Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável de cascas. *Instituto Sociedade, População e Natureza, Brasília*, 108.
- 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. *Field Crops Research*, 258, 107957.
- 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. *International Journal of Environmental Research*, 12 (1), 117-126.
- Javanmard, A., Machiani, M. A., Lithourgidis, A., Morshedloo, M. R., & Ostadi, A. (2020). Intercropping of maize with legumes: A cleaner strategy for improving the quantity and quality of forage. *Cleaner Engineering and Technology*, 1, 100003.
- Jardim, A. M. R. F., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Araújo Júnior, G. N., Alves, H. K. M. N., Souza, M. S., Araújo, G. G. L., & Moura, M. S. B. (2021a). Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. *Journal of Arid Environments*, 188, 104464.
- Jardim, A. M. 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. (2021b). Intercropping forage cactus with sorghum affects the morphophysiology and phenology of forage cactus. *African Journal of Range & Forage Science*, 1-12.
- Jiao, N., Wang, J. M. A. 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. *The Crop Journal*, 9 (6), 1460-1469.
- Leite, M. L. M.; Silva, D. S.; Andrade, A. P.; Pereira, W. E.; & Ramos, J. P. F. (2014). Caracterização da produção de palma forrageira no Cariri paraibano. *Revista Caatinga*, 27(2), 192-200.
- Lima, L. R., Silva, T. G. F., Jardim, A. M. Da R. F., Souza, C. A. A., Queiroz, M. G., & Tabosa, J. N. (2018). Growth, water use and efficiency of forage cactus sorghum intercropping under different water depths. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22, 113-118.
- Lima, F. M., Almeida, R. B., Silva, J. G., & Carvalho, L. V. (2022). Governança da política ambiental e o agronegócio brasileiro. *Colóquio-Revista do Desenvolvimento Regional*, 19 (2), 237-258.
- Liu, X., Rahman, T., Song, C., Yang, F., Su, B., Cui, L., Bu, W., & Yang, W. (2018). Relationships among light distribution, radiation use efficiency and land equivalent ratio in maize-soybean strip intercropping. *Field Crops Research*, 224, 91-101.

- Masvaya, E. N., Nyamangara, J., Descheemaeker, K., & Giller, K. E. (2017). Is maize-cowpea intercropping a viable option for smallholder farms in the risky environments of semi-arid southern Africa. *Field Crops Research*, 209, 73-87.
- Meira, A. N., Givisiez, P. E. N., Souza, Francisca G. C., Leon, C. M. G. C., Azevedo, P. S., Silva, N. M. V., & Oliveira, C. J. B. (2021). Food security and safety mismatch in low-income settings: Evidence from milk produced by smallholders in semiarid Paraíba, Northeastern Brazil. *Journal of Arid Environments*, 188, 104453.
- Moura, M. S. B., Espínola Sobrinho, J., Silva, T. G. F., & Souza, W. M. (2019). Aspectos meteorológicos do Semiárido brasileiro. In: Luciano Feijão Ximenes, Maria Sonia Lopes da Silva, Luiza Teixeira de Lima Brito. (Org.). *Tecnologias de convivência com o Semiárido brasileiro*. 1ed. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 1, 85-104.
- Oliveira, F., Sena, R., Azevedo, D., & Santos, D. (2021). Difusão de forrageiras adaptadas à caatinga: uma estratégia para a produção animal sustentável. *Enciclopédia Biosfera*, 18 (38).
- Oliveira Júnior, J. F., Gois, G., Lima Silva, I. J., Oliveira Souza, E., Jardim, A. M. R. F., Silva, M. V., & Jamjareegulgarn, P. (2021). Wet and dry periods in the state of Alagoas (Northeast Brazil) via Standardized Precipitation Index. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 224, 105746.
- Oseni, T. O. (2010). Evaluation of sorghum-cowpea intercropping productivity in Savanna Agro-Ecology using competition indices. *Journal of Agricultural Science*, 2(3), 229-233.
- Pereira Filho, J.M., Silva, A. M. A.; & César, M. F. (2013). Manejo da Caatinga para produção de caprinos e ovinos. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 14, 77-90.
- Rai, R. K., Bhatta, L. D., Acharya, U., & Bhatta, A. P. (2018). Assessing climate-resilient agriculture for smallholders. *Environmental Development*, 27, 26-33.
- Rogério, M. C. P.; Fernandes, F. E. P.; Pompeu, R. C. F. F.; Guedes, F. L.; Alves, A. A.; Carvalho, W. F.; Oliveira, D. S.; Araújo, A. R.; & Memória, H. Q. (2020). *Potencial forrageiro da vegetação nativa da Caatinga para o pastejo de ovinos*. Embrapa Caprinos e Ovinos.
- Sabino, F. C., Souza, L. S. B., Souza, M. A. G., Barros, J. P. A., Lucena, L. R. R., Jardim, A. M. R. F., & Silva, T. G. F. (2021). Morphological characteristics, biomass accumulation and gas exchange of an importante species native for restoration in Semiarid Brazilian areas affected by salt and water stress. *Plant Stress*, 2, 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. *Field Crops Research*, 148, 43-48.
- Salvador, K. R. S, Jardim, A. M. D. R. F., Nascimento, G., Júnior, A., Alves, C. P., Pinheiro, A. G., & 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. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14 (04), 2322-2343.
- Santos, S. M., & Farias, M. M. M. W. E. C. (2017). Potential for rainwater harvesting in a dryclimate: Assessments in a semiarid region in northeast Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 164, 1007-1015.
- Santos, T. V. A.; Edson-Chaves, B.; & Oliveira, F. M. C. (2021). Xerofitismo e suculência. *Revista de Ciência Elementar*, 9 (2).
- Silva, J. L. B. Moura, G. B. A., Silva, M. V., Lopes, P. M. O., Guedes, R. V. S., Silva, E. F. F. Ortiz, P. F. S., & Rodrigues, J. A. M. (2020). 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*, 20, 100372.
- Silva, D. F. Melo, P. H. G., Lima, G. C. S., Farias, I. M. S. C., Pádua, G. V. G, Pereira, P. H. B, & Cabral, A. M. D (2021). Características morfológicas, melhoramento genético e densidade de plantio das culturas do sorgo e do milho: uma revisão. *Research, Society and Development*, 10 (3), e12310313172.
- Santos, W. R., Souza, L. S. B., Pacheco, A. N., Rosa, A. M., Jardim, A. M. D. R. F., & Silva, T. G. F. (2021). Eficiência do Uso da Água para Espécies da Caatinga: uma Revisão Para o Período de 2009-2019. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14 (05), 2573-2591.
- Souza, E. L., Cruz, P. J. R., Bonfá, C. S., & Magalhães, M. A. (2018). Plantas forrageiras para pastos de alta produtividade. *Nutritime*, 15, 8273-8284.
- Souza, M. S.; Júnior, G. D. N. A.; Souza, L. S. B.; Jardim, A. M. D. R. F.; Silva, G. I. N.; Araújo, G. G. L.; & Silva, T. G. F. D. (2022). Forage yield, competition and economic benefit of intercropping cactus and millet with mulch in a semi-arid environment. *African Journal of Range & Forage Science*, 1-12.
- SUDENE. *Delimitação do semiárido*. (2021). Disponível em: <<http://www.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>>. Acessado em 09 de Ago de 2022.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., Murphy, A., 2017. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal* (6ªed). Editora Artmed.
- 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.
- Xiao, J., Yin, X., Ren, J., Zhang, M., Tang, L., & Zheng, Y. (2018). Complementation drives higher growth rate and yield of wheat and saves nitrogen fertilizer in wheat and faba bean intercropping. *Field Crops Research*, 221, 119-129.
- Yilmaz, S., Atak, M., & Erayman, M. (2008). Identification of advantages of maize-legume intercropping over solitary cropping through competition indices in the East Mediterranean Region. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32 (2), 111-119.
- Yilmaz, S., Ozel, A., Atak, M., & Erayman, M. (2015). Effects of seeding rates on competition indices of barley and vetch intercropping systems in the eastern mediterranean. *Turkish journal of agriculture and forestry*, 39 (1), 135-143.
- Zhang, Z., Chirstensnen, M., Nan, Z., Whish, J. P. M., Bell, L. E., Wang, Z., & Sim, R. (2019). Plant development and solar radiation interception of four annual forage plants in response to sowing date in a semi-arid environment. *Industrial Crops and Products*, 131, 41-53.