



VI Congresso Brasileiro de Palma e Outras Forrageiras para o Semiárido





**VI Congresso Brasileiro de Palma
e Outras Forrageiras para o Semiárido**



Consórcios de palma forrageira para intensificação sustentável da produção de forragem

Por: Thieres George Freire da Silva

Professor UFRPE/UAST, Agrometeorologista

Membro da Equipe ZARC-Palma

Coordenador do Grupo GAS (Grupo de Agrometeorologia no Semiárido)

Pesquisador CNPq

Mentor intelectual e Coordenador do SERVAGRO

Ex-Presidente da SBAgro (2017-2019, 2019-2021)



Quando se deve adotar consórcios com palma forrageira

- ✓ Limitação de terras (área agriculturável);
- ✓ Limitação hídrica (persistente ou sazonal);
- ✓ Redução da aplicação de fertilizantes;
- ✓ Controle de pragas e doenças;
- ✓ Melhoria das interações ecológicas;
- ✓ Melhoria da saúde do solo;
- ✓ Aumento da diversidade alimentar;
- ✓ Diminuição da mão de obra (Agricultura familiar);
- ✓ Agregação de receita na área;
- ✓ Entre outros.



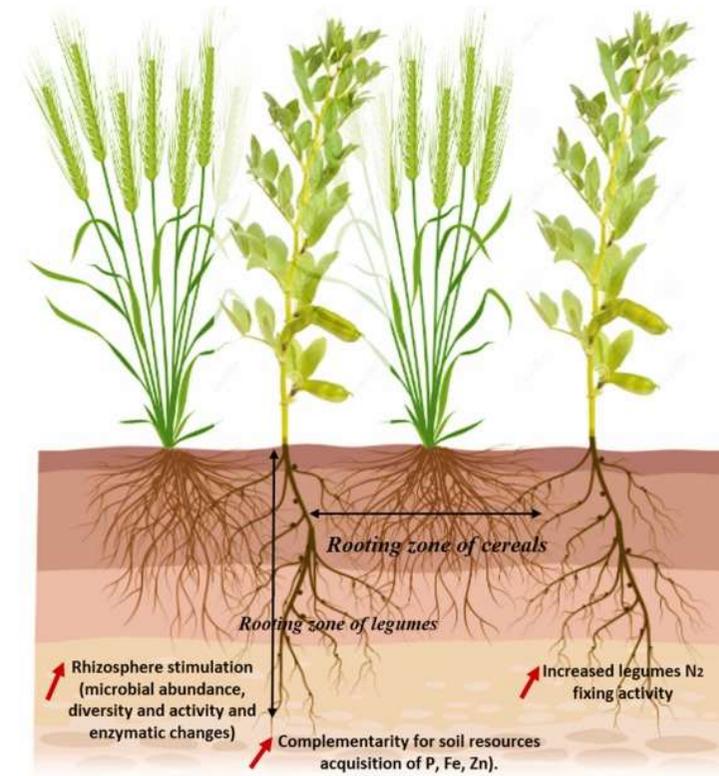
Definição de “consórcios entre culturas”

“**Consórcio entre culturas** é caracterizado pela maximização de espaço mediante o **cultivo simultâneo, num mesmo local**, de **duas ou mais espécies** com diferentes características quanto à sua arquitetura vegetal, hábitos de crescimento e fisiologia” (Embrapa, 2023)



Yang et al. (2021)

<https://journal.hep.com.cn/fase/EN/10.15302/J-FASE-2021398>



Chamkhi et al. (2022)

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114958>

Por que é preciso avançar em estudos de consórcios de palma e outras plantas no Semiárido brasileiro ou em regiões que eventualmente sofrem com seca?

- ✓ **Seguridades hídrica e alimentar dos rebanhos** (fragilidade das cadeias produtivas agropecuárias ao clima);
- ✓ **Redução custos de produção** (70% com a dieta – quantidade e diversidade);
- ✓ **Calendário agrícola limitado** (para a maioria das culturas importantes da dieta: milho, algodão, soja);
- ✓ **Irregularidade do período chuvoso** (em quantidade – 1961-1990/1991-2020, BDMEP INMET – distribuição das chuvas e mudanças climáticas);
- ✓ **Aporte forrageiro insuficiente da caatinga** (em quantidade e em qualidade – sistema de criação extensivo – **déficit forrageiro do Nordeste é em torno de 60%**);
- ✓ **Necessidade de potencializar a produção de forragem** (no período de disponibilidade de água e armazenar para os períodos secos);
- ✓ **Possibilidade de implantação de pequenas unidades produtivas irrigadas** (~ 55.000 poços -> potencial de 120.000 poços com vazão superior a 1 m³; 720 milhões de L / dia, 20 a 30% com água doce);
- ✓ **Redução da sinistralidade a partir da adoção de BOAS PRÁTICAS.**



Vantagens dos “consórcios entre culturas”

Vantagens dependem do arranjo adotado!

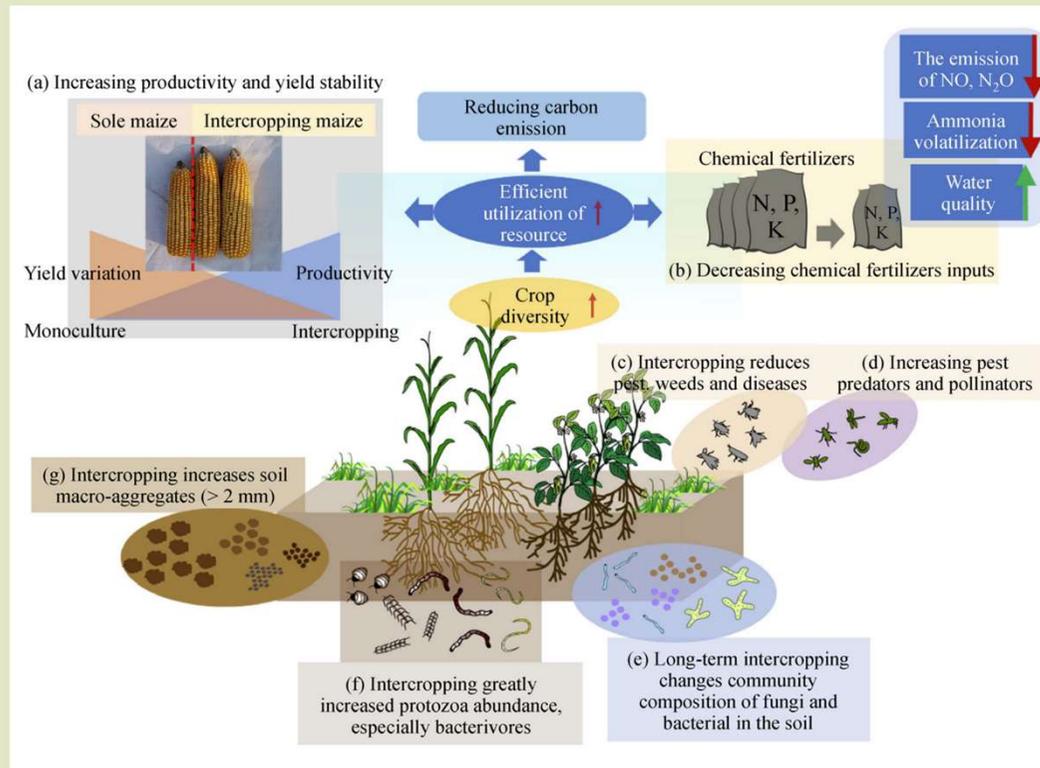


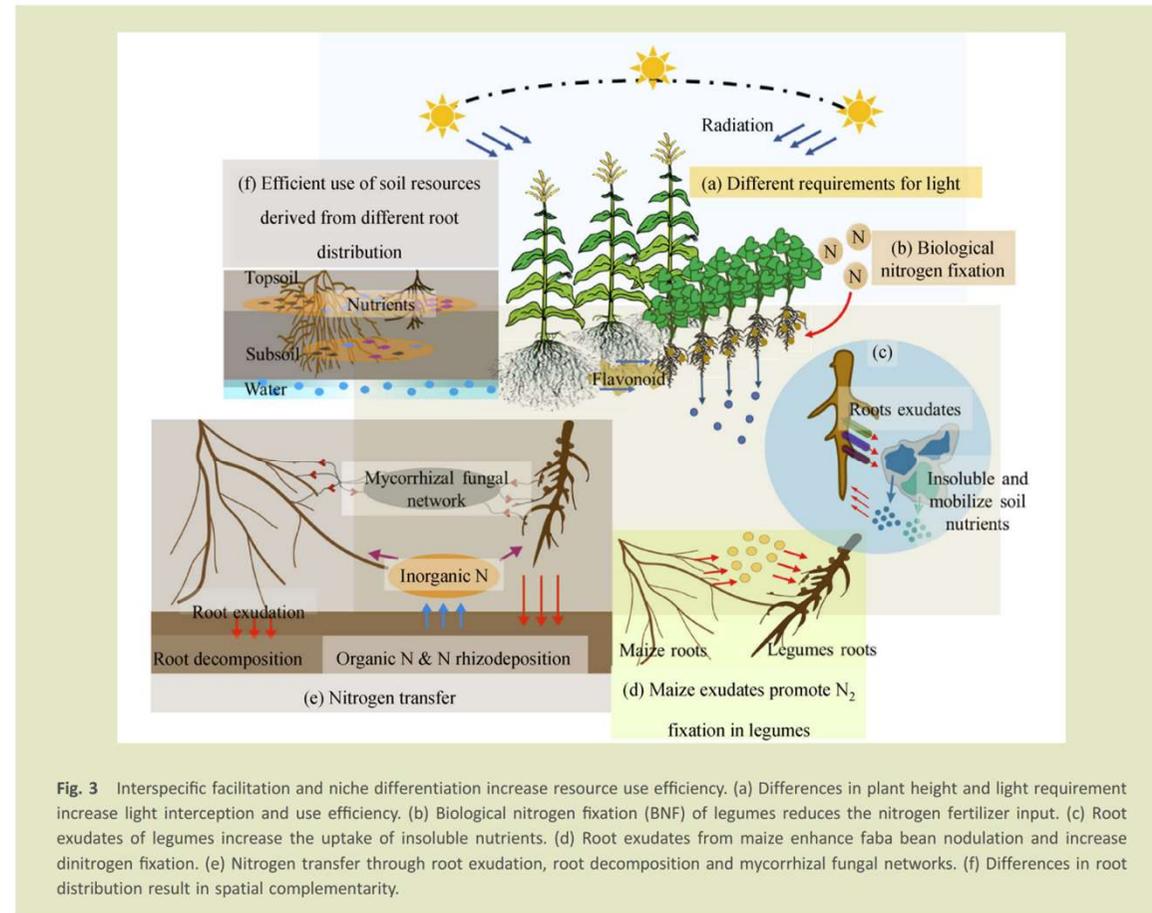
Fig. 1 Crop diversity and the coexistence of multiple species have been used as an example of improved agroecosystem functions. Compared to monocultures, intercropping increased the productivity and yield stability, reduced agrochemical inputs and thus the environmental costs (greenhouse gas emissions, water and soil pollution), and increasing insect diversity improved crop pollination and reduced plant diseases.

- ✓ Aumento da produtividade e da estabilidade da produção;
- ✓ Redução da emissão de CO₂;
- ✓ Melhoria da eficiência de utilização dos recursos naturais (eficiência do uso da água, radiação e nutrientes);
- ✓ Diminuição da entrada de fertilizantes químicos - NPK (redução da emissão N₂O e volatilização da amônia, NH₃);
- ✓ Melhoria da qualidade da água (menor lixiviação);
- ✓ Redução da ocorrência de pragas, ervas daninhas e doenças;
- ✓ Aumento da ocorrência de predadores de pragas e polinizadores;
- ✓ Incremento da macro porosidade do solo (> 2 mm) (maior densidade de raízes).

Vantagens dos “consórcios entre culturas”

Vantagens dependem do arranjo adotado!

- ✓ Melhoria da distribuição do sistema radicular (exsudatos radiculares – compostos orgânicos: aminoácidos, ácidos orgânicos e derivados de ácidos nucléicos);
- ✓ Transferência de nitrogênio (distintas fontes);
- ✓ FBN (em consórcios com leguminosas – exsudação de N a partir das raízes, decomposição de raízes e micorrizas);
- ✓ Melhoria no aproveitamento da radiação solar incidente;
- ✓ Utilização de nutrientes insolúveis no solo;
- ✓ Diminuição da evaporação da água do solo;
- ✓ Melhoria da eficiência do uso da terra;
- ✓ Intensifica os benefícios de práticas agrícolas (plantio direto, irrigação, adensamento de culturas)
- ✓ Entre outros.



Yang et al. (2021)

<https://journal.hep.com.cn/fase/EN/10.15302/J-FASE-2021398>

Modificações observadas nas culturas

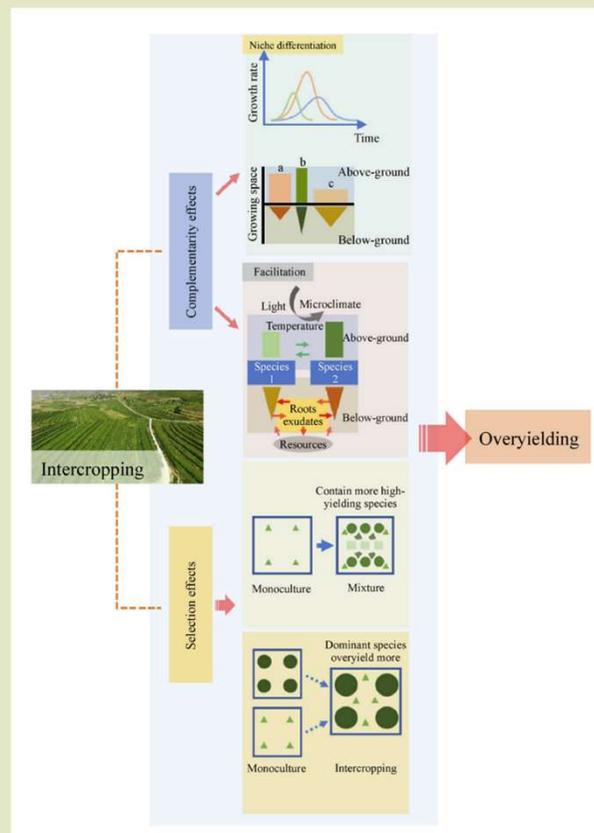


Fig. 2 The mechanisms of complementarity effects and selection effects driving overyielding in intercropping.

Yang et al. (2021)

<https://journal.hep.com.cn/fase/EN/10.15302/J-FASE-2021398>

- ✓ Mudanças nas **taxas de crescimento das culturas**;
- ✓ Alterações na fenologia;
- ✓ **Microclima** (interceptação de radiação, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento - rugosidade)
- ✓ **Consumo de água** (pode ser observado aumento, mas depende do arranjo de cultivo e do manejo de irrigação adotado: sem déficit, com déficit ou déficit variado);
- ✓ **Evaporação de água do solo** (as taxas diárias são menores, mas os valores acumulados ao longo do ciclo podem ser maiores, por causa do prolongamento do estágio de crescimento nos consórcios);
- ✓ **Produtividade e eficiência do uso da água**
(Contudo, deve-se observar dados técnicos como: as espécies, densidade de plantas e o arranjo espacial, adubação, irrigação, adoção de práticas como plantio direto, e fatores ambientais).

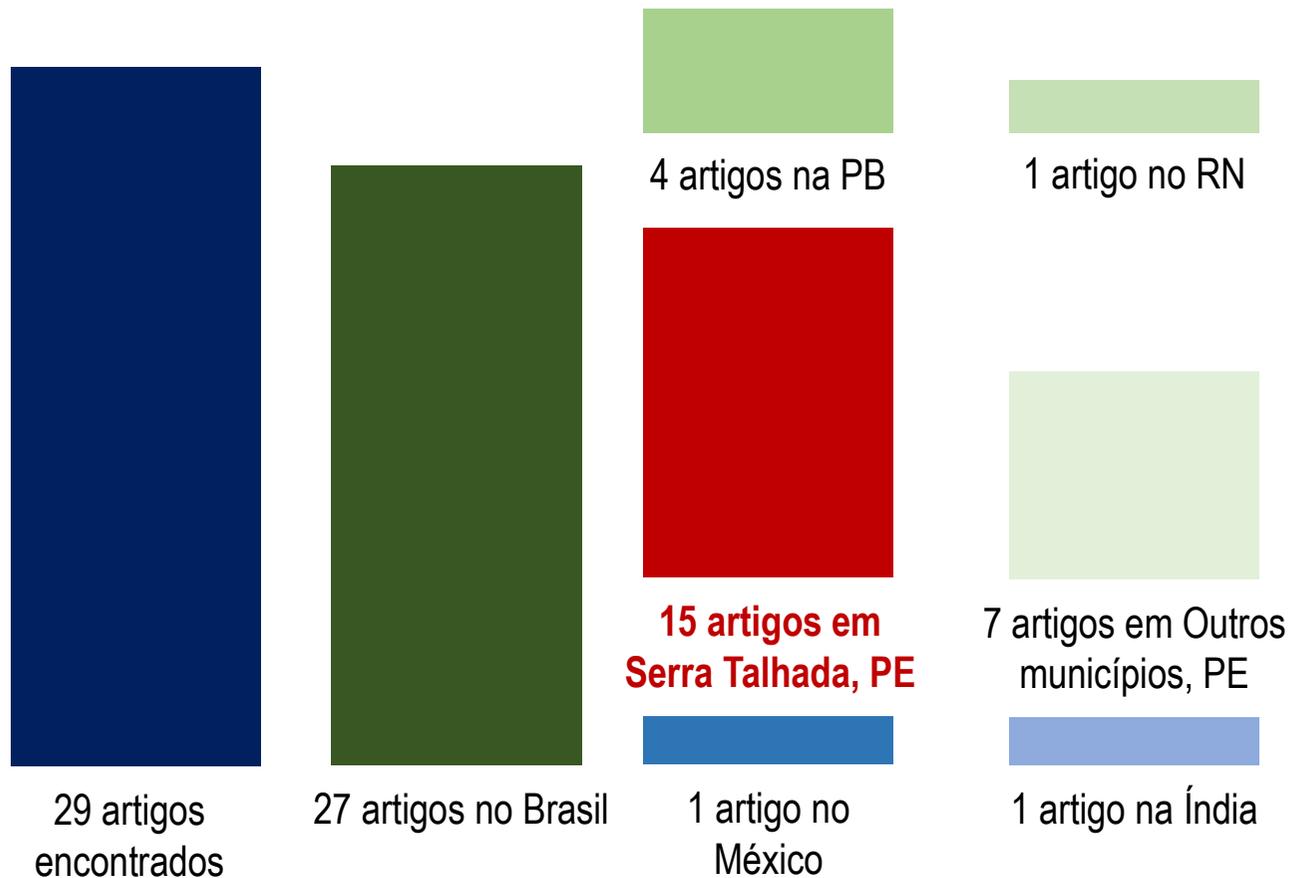
Yin et al. (2020)

<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106335>

Onde há estudos sobre consórcio de palma com outras culturas?

Bases de busca: Scopus, Web of Science e Google Acadêmico

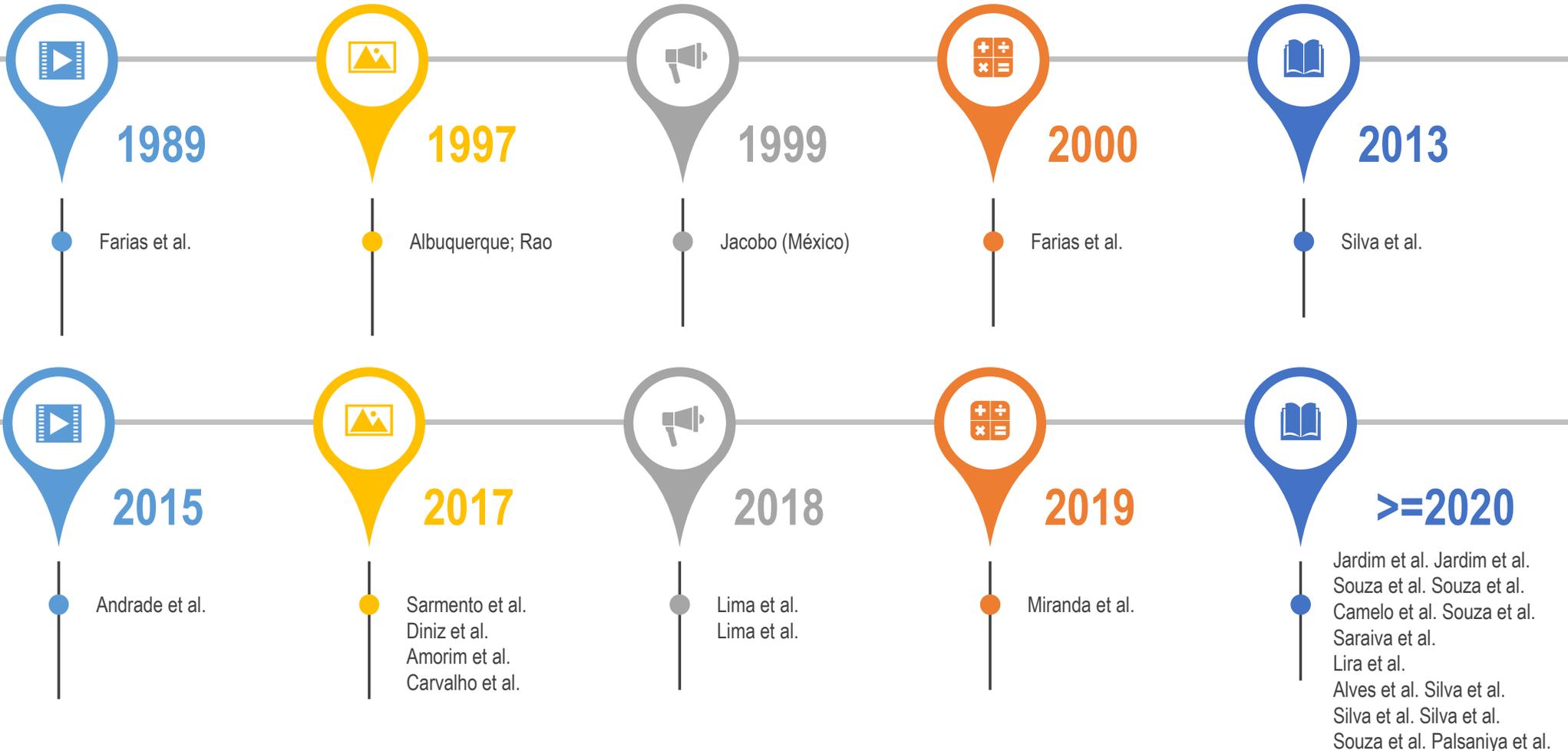
Palavras-chave: “intercropping” AND “cactus”



Natureza dos estudos:

- Sistemas agroflorestais (2)
- Propriedades químicas do solo (2)
- Composição e qualidade da forragem (2)
- Carbono Total Orgânico (1)
- Atividade microbiana (1)
- Pg, [CO₂], eficiência intrínseca do uso da água (2)
- Produtividade (20)
- Clones de palma (4)
- Índices hídricos (5)
- Densidade de plantio (3)
- Arranjo espacial (3)
- Palma-sorgo (7), palma-algodão (1), palma-amendoim (2), palma-algaroba (1), palma-sabiá (2), palma-feijão (1), palma-melancia forrageira (1), palma-bufell (1), palma-milheto (4), palma-glicíndia (3), palma-leucena (1) e palma-cunhã (1)
- Cobertura morta, e consorciação (3)
- Consórcio irrigado (16)
- Viabilidade econômica (1)

Timeline das publicações de consórcios de palma



CentroRef: UAST/UFRPE (2010)





Image © 2021 CNES / Airbus

Google Earth



CentroRef: UAST/UFRPE



VI Congresso Brasileiro de Palma
e Outras Forrageiras para o Semiárido

Palma-Milheto



Palma-Sorgo



Consórcio palma com feijão guandu em sistema rotativo com o sorgo, variando: com e sem cobertura morta, seis clones (IPA, MIU, OEM, OEA, V19, F8) e 5 doses de nitrogênio (0, 75, 150, 300 e 450 kg ha⁻¹).

O bom consórcio de palma com base técnica adequada garante uma complementariedade fisiológica que potencializa a produção!!!!



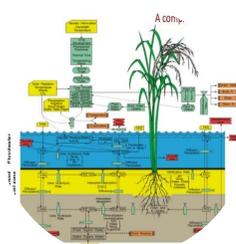
Dados coletados e mensurações

- ✓ ET
- ✓ T
- ✓ E
- ✓ Kc
- ✓ Kcb
- ✓ Ke
- ✓ Umidade do solo
- ✓ Fisiologia e Bioquímica
- ✓ Morfologia
- ✓ Índice de área foliar
- ✓ Momento de corte
- ✓ Fenologia
- ✓ Biomassa aérea
- ✓ Acúmulo de massa de forragem
- ✓ Matéria seca
- ✓ Acúmulo de nutrientes
- ✓ Bromatologia
- ✓ Eficiência do uso da água
- ✓ Fração interceptada de radiação
- ✓ Eficiência do uso da radiação
- ✓ Eficiência do uso dos nutrientes
- ✓ Parâmetros químico-físicos
- ✓ Variáveis meteorológicas

Calibração / Validação de modelos de estimativa das safras



Crop database



Simulações



The schematic diagram illustrates a plant with various fluxes: precipitation (P) falling on the canopy, transpiration (T) from the leaves, evaporation (E) from the soil surface, runoff (R) to the right, and deep percolation (DP) downwards. A vertical axis represents soil depth, with a 60 cm layer highlighted. The soil moisture flux is given by the equation $Q = -K(\theta) \frac{\Delta \psi_t}{\Delta z}$. The change in soil area is $\Delta A = A_f - A_i$. A blue arrow labeled 'AC' points upwards from the bottom of the 60 cm layer. A red bracket on the left indicates a depth range ΔA . The seedmech sensor is shown in the top right. The bottom right features a collage of field photos showing soil sampling, cacti, and a building.

Como avaliar o consórcio entre culturas agrícolas

Indicadores de eficiência biológica e habilidade competitiva

Eficiência biológica do consórcio:

- ✓ Taxa equivalente da terra (LER)
- ✓ Razão de área equivalente no tempo (RAET)
- ✓ Coeficiente equivalente de terra (CET)
- ✓ Índice de produtividade do sistema (IPS)

Habilidade competitiva do consórcio:

- ✓ Coeficiente de adensamento relativo (CAR)
- ✓ Coeficiente de agressividade (A),
- ✓ Perda ou ganho atual de rendimento (PGAR)
- ✓ Razão de competitividade (RC)

Table 1 Distribution and land equivalent ratio (LER) of the main intercropping systems of selected countries

Continent	Country/Region	Intercropping system	LER	Reference
Africa	Ethiopia	Wheat (<i>Triticum aestivum</i>)-faba bean (<i>Vicia faba</i>)	1.03–1.17	[12]
	Malawi	Maize (<i>Zea mays</i>)-pigeon pea (<i>Cajanus cajan</i>)	–	[13]
	Nigeria	Rice (<i>Oryza sativa</i>)-cowpea	1.13–1.85	[14]
Asia	China	Maize-pea	1.18–1.47	[15]
		Wheat-maize	1.14–1.33	[16]
		Maize-soybean (<i>Glycine max</i>)	1.91–2.13	[17]
	India	Maize-faba bean	0.94–1.47	[18]
		Maize-soybean	1.1–1.6	[19]
		Rice-peanut (<i>Arachis hypogaea</i>)	1.66	[20]
		Sunflower (<i>Helianthus annuus</i>)-soybean	0.82–1.28	[21]
Europe	England	Maize-faba bean	1.02–1.23	[22]
	France	Wheat-clover (<i>Trifolium</i>)	–	[23]
	Italy	Ryegrass (<i>Lolium perenne</i>)-clover	1.1–1.2	[24]
North America	Canada	Pea-barley (<i>Hordeum vulgare</i>)	1.13–1.31	[25]
		Pea-oat (<i>Avena sativa</i>)	1.13–1.29	[25]
	United States	Winter wheat-clover	–	[26]
Oceania	Australia	Wheat-chickpea (<i>Cicer arietinum</i>)	0.97–1.10	[27]
South America	Brazil	Cowpea (<i>Vigna unguiculata</i>)-beet (<i>Beta vulgaris</i>)	1.05–1.11	[28]

Yang et al. (2021)

<https://journal.hep.com.cn/fase/EN/10.15302/J-FASE-2021398>

Quando LER > 1 existe vantagem produtiva do consórcio em relação ao sistema exclusivo
Exemplo: LER = 1,50 significa que plantar 50% mais de área no sistema exclusivo para igualar a produtividade do consórcio.

Outra forma de avaliar o consórcio entre culturas agrícolas

$$\text{Eficiência do uso da água (WUE)} = ET / (P+I)$$

$$\text{Produtividade da água da cultura (WPC)} = Y / ET$$

Table 1

Definitions of terms related to water use efficiency (WUE), crop water productivity (WP) and economic water productivity (EWP) often used in the literature. The * symbol means that the indicator is not recommended for evaluating the agricultural use of water (see Sections 2.1 for details and 3.3.1 for discussion).

Indicator	Units	Eq. No.	Definition and details
$WUE_c = \frac{ET_c}{I+P}$	$\frac{m^3 ha^{-1}}{m^3 ha^{-1}}$	1	<i>Crop WUE</i> : Ratio between the actual crop evapotranspiration (ET_c) and the total water applied by irrigation (I) and precipitation (P). After Perry et al. (2009).
$WUE_i = \frac{A_N}{g_s}$	$\frac{\mu mol CO_2 m^{-2} s^{-1}}{mol H_2O m^{-2} s^{-1}}$	2	<i>Intrinsic WUE</i> : Ratio between the net CO_2 assimilation rate (A_N), or net photosynthesis, and the stomatal conductance (g_s). Measurements are made at the leaf level (in a leaf or a group of leaves), for a short period of time (normally from seconds to minutes). After Osmond et al. (1980).
* $WUE_p = \frac{biomass}{E_p}$	$\frac{kg plant^{-1}}{m^3 plant^{-1}}$	3	<i>Plant WUE</i> : Ratio between total biomass produced by a plant along the growing season and the total amount of water transpired by the plant in the same period (E_p). After Viets (1962) and Flexas et al. (2010).
* $WUE_c = \frac{biomass}{ET_c}$	$\frac{kg ha^{-1}}{m^3 ha^{-1}}$	4	<i>Crop WUE</i> : Ratio between total biomass produced by a crop along the growing season and the total amount of water consumed by the crop, or crop evapotranspiration (ET_c), in the same period. After Viets (1962) and Flexas et al. (2010).
$WP_c = \frac{yield}{ET_c}$	$\frac{kg ha^{-1}}{m^3 ha^{-1}}$	5	<i>Crop Water Productivity</i> : Ratio between the marketable yield produced by a crop and the water consumed by the crop or crop evapotranspiration (ET_c). Some authors call it “Bio-physical Crop Water Productivity” or “Physical Crop Water Productivity”, to differentiate from the Economic Water productivity. After Kijne et al. (2003)
$WP_c = \frac{yield}{TWU}$	$\frac{kg ha^{-1}}{m^3 ha^{-1}}$	6	<i>Crop Water Productivity</i> : Some authors propose the total amount of water involved in crop production (TWU) as denominator of WP_c (See Section 2.1 for details). After Rodrigues and Pereira (2009).
$WP_i = \frac{yield}{IWU}$	$\frac{kg ha^{-1}}{m^3 ha^{-1}}$	7	<i>Irrigation Water Productivity</i> : Ratio between the marketable yield produced by a crop along the growing season and the irrigation water applied (IWU) in the same period. After Rodrigues and Pereira (2009).
$GEWP_i = \frac{Gross\ Margin}{IWU}$	$\frac{€ ha^{-1}}{m^3 ha^{-1}}$	8	<i>Gross Economic Irrigation Water Productivity</i> : Ratio between the Gross Margin (revenue-variable costs) (in whatever currency; euros are used in this case) related to a crop along the growing season and the irrigation water applied (IWU) in the same period. See text for details on the Gross Margin.
$NEWP_i = \frac{Net\ Margin}{IWU}$	$\frac{€ ha^{-1}}{m^3 ha^{-1}}$	9	<i>Net Economic Irrigation Water Productivity</i> : Ratio between the Net Margin (revenue – variable and fix costs) (in whatever currency; euros are used in this case) related to a crop along the growing season and the irrigation water applied (IWU) in the same period
$EWP_c = \frac{Profit}{TWU}$	$\frac{€ ha^{-1}}{m^3 ha^{-1}}$	10	<i>Economic Crop Water Productivity</i> : Ratio between the Profit (revenue-variable, fix and opportunity costs) (in whatever currency; euros are used in this case) produced by a crop along the growing season and the total amount of water involved in crop production (TWU). See Section 2.1 for details on TWU.
$EWP_i = \frac{Profit}{IWU}$	$\frac{€ ha^{-1}}{m^3 ha^{-1}}$	11	<i>Economic Irrigation Water Productivity</i> : Ratio between the Profit (revenue-variable, fix and opportunity costs) (in whatever currency; euros are used in this case) produced by a crop along the growing season and the irrigation water applied (IWU) in the same period.

Consórcio palma-sorgo irrigado (2º ciclo da palma)

- ✓ Cultivares de sorgo: SF11, 467, 2502
- ✓ Clones de palma forrageira: IPA Sertânia, Miúda, Orelha de Elefante Mexicana
- ✓ 1º ciclo da palma solteira (16 meses)
- ✓ Corte da palma com manutenção dos cladódios de 1ª ordem
- ✓ 9 combinações de consórcios + 6 cultivos solteiros
- ✓ 50.000 plantas de palma por hectare (1 x 0,2 m)
- ✓ 200.000 plantas de sorgo por hectare (1 m)
- ✓ Irrigação com base no kc da palma (120%.0,52)
- ✓ Adubação NPK, apenas controle de ervas, sem tratamento fitossanitário
- ✓ 16 meses de consórcio: 4 ciclos de sorgo, 580 mm ano⁻¹ e irrigações de 1,4 mm dia⁻¹.

Jardim et al. (2021)

Melhores arranjos e particularidades:

MV/MS: 221,73 e 47,04 Mg ha⁻¹

Consórcio versus Monocul.: 47%MV/3,5xMS

OEM-'467': 326,45 e 49,02 Mg ha⁻¹

IPA-'467': 250,19 e 62,75 Mg ha⁻¹

MIU-'467': 255,09 e 61,31 Mg ha⁻¹

IPA e MIU irrigadas: ↑ mortalidade

OEM: menor quebra de produtividade



Consórcio palma-sorgo irrigado (3º e 4º ciclos de palma)

- ✓ Cultivares de sorgo: SF11, 467, P288
- ✓ Clones de palma forrageira: IPA Sertânia, Miúda, Orelha de Elefante Mexicana
- ✓ 3º ciclo da palma (1º ciclo solteira, 2º ciclo consórcio)
- ✓ Corte da palma com manutenção dos cladódios de 1ª ordem
- ✓ 9 combinações de consórcios
- ✓ 6 cultivos solteiros
- ✓ 50.000 plantas de palma por hectare (1 x 0,2 m)
- ✓ 200.000 plantas de sorgo por hectare (1 m)
- ✓ Irrigação com base no kc da palma (120%.0,52)
- ✓ Adubação NPK, apenas controle de ervas, sem tratamento fitossanitário
- ✓ 18 meses de consórcio: 2 ciclos de palma, 4 ciclos de sorgo, 1100 mm ano⁻¹ e irrigações de 1,3 mm dia⁻¹. Alves et al. (2022)



Consórcio vs Monocul.: 129%MV/7,5xMS

OEM-'P288': 301,8 e 44,2 Mg ha⁻¹

OEM-'467': 293,8 e 37,6 Mg ha⁻¹

OEM-'SF11': 269,4 e 34,7 Mg ha⁻¹

IPA-'467': 149,4 e 35,5 Mg ha⁻¹

IPA-'P288': 173,8 e 37,4 Mg ha⁻¹

MIU-'P288': 162,4 e 35,3 Mg ha⁻¹

IPA e MIU irrigadas: ↑ mortalidade

Consórcios palma-sorgo, palma-feijão guandu, palma girassol e palma-milheto em sistema super adensado da palma forrageira (100.000 plantas por hectare)



Sistemas 1º ciclo da palma (~13 meses):

- ✓ Palma Exclusiva (P);
- ✓ Palma+Feijão-guandu (P-G);
- ✓ Palma+Girassol (P-GI);
- ✓ Palma+Sorgo (P-S).



Sistemas 2º ciclo da palma (~17 meses):

- ✓ Palma Exclusiva (P);
- ✓ Palma+Sorgo SF15 (P-SF15);
- ✓ Palma+Milheto (P-M);
- ✓ Palma+Sorgo 1011 (P-1011).

Tabela. Produtividade de forragem da palma forrageira durante dois ciclos produtivos, consorciada, irrigada com e sem cobertura morta em ambiente semiárido.

Ciclos	Primeiro ciclo							
	Produtividade de massa fresca (Mg ha ⁻¹)				Produtividade de massa seca (Mg ha ⁻¹)			
	Y _S	Y _{FG}	Y _{GI}	Y _{PEXC}	Y _S	Y _{FG}	Y _{GI}	Y _{PEXC}
1	27,10 a	7,26	0,71 a	-	12,68 a	2,35	0,15 a	-
2	30,89 a	-	1,08 a	-	8,87 b	-	0,22 a	-
3	33,19 a	-	1,13 a	-	9,78 ab	-	0,20 a	-
4	9,22 b	-	-	-	3,25 c	-	-	-
Σ _C	100,40 a	7,26 b	2,92 b	-	34,58 a	2,35 b	0,57 b	-
Y _P	171,11 a	159,44 a	99,88 a	111,32 a	17,32 a	12,38 a	8,14 a	10,05 a
Y _{SIS}	271,52 a	166,71 ab	102,80 b	111,32 b	51,90 a	14,73 b	8,71 b	10,05 b
Ciclos	Segundo ciclo							
	Produtividade de massa fresca (Mg ha ⁻¹)				Produtividade de massa seca (Mg ha ⁻¹)			
	Y _{S-1011}	Y _{S-SF15}	Y _M	Y _{PEXC}	Y _{S-1011}	Y _{S-SF15}	Y _M	Y _{PEXC}
1	16,97 b	58,42 a	7,45 bc	-	5,90 ab	12,53 a	2,53 b	-
2	61,22 a	41,09 ab	66,73 a	-	15,02 a	13,36 a	20,45 a	-
3	24,49 b	18,90 b	21,80 b	-	6,98 ab	5,35 a	5,28 b	-
4	14,52 b	-	1,28 c	-	2,91b	-	0,26 b	-
Σ _C	117,20 a	118,41 a	96,90 a	-	30,81 a	31,24 a	28,52 a	-
Y _P	500,23 b	906,53 a	712,62 ab	759,50 ab	35,10 a	61,93 a	53,39 a	60,59 a
Y _{SIS}	617,43 b	1024,93 a	809,52 ab	759,50 ab	65,91 a	93,16 a	81,92 a	60,59 a

Para a o rendimento individual por ciclos do Y_S – sorgo, Y_{SF15} – sorgo cv. SF15, Y₁₀₁₁ – sorgo cv. SF15, Y_M – milho, Y_{FG} – feijão-guandu e Y_{GI} – girassol as médias com mesma letra na coluna não se diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. No entanto para o Σ_C – Somatório da produtividade por ciclos, Y_P – rendimento individual da palma em consórcio e Y_{PEXC} – palma exclusiva e Y_{SIS} – rendimento final dos sistemas, as médias seguidas das mesmas letras na linha não diferem-se estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Consórcios palma-milho em sistema adensado da palma forrageira (33.333 plantas por hectare)



Tabela 3. Produtividade da palma forrageira exclusiva e consorciada com milho.

Primeiro ciclo			
Condição	Palma forrageira		Produtividade de massa seca (Mg ha ⁻¹)
	Produtividade de massa fresca (Mg ha ⁻¹)		
PECC	168,52 a		22,79 a
PESC	167,45 a		16,66 a
PMCC	152,99 a		16,62 a
PMSC	167,48 a		20,92 a
Cultura secundária			
Condição	Produtividade de massa fresca (Mg ha ⁻¹)		Produtividade de massa seca (Mg ha ⁻¹)
	MCC	MSC	
Exclusivo	32,57 a	20,66 a	9,18 a
Consoceado	16,37 b	12,48 a	4,71 b
Somatório dos sistemas			
Condição	Produtividade de massa fresca (Mg ha ⁻¹)		Produtividade de massa seca (Mg ha ⁻¹)
PECC	168,52 a		22,79 ab
PESC	167,45 a		16,66 ab
PMCC	169,36 a		21,33 ab
PMSC	179,96 a		24,46 a
MECC	32,57 b		9,18 bc
MESC	20,66 b		5,72 c

❖ Sistemas de cultivo:

- ✓ Palma exclusiva com cobertura;
- ✓ Palma exclusiva sem cobertura;
- ✓ Palma+Milho sem cobertura;
- ✓ Palma+Milho com cobertura;
- ✓ Milho sem cobertura;
- ✓ Milho com cobertura.

Consórcio palma-milheto irrigado: efeitos na produtividade e na LER

Table 2: Fresh matter (FM) yield, dry matter (DM) yield and dry matter content (DMC) in the forage cactus (c), in millet (m) and total (t = cactus + millet) under different cropping systems, with and without mulching

	FM _c	FM _t	DM _c	DM _t	DMC _c	DMC _m	DMC _t
	t ha ⁻¹				t t ⁻¹		
Cropping systems							
C	279.7 ^a	279.7 ^a	23.8 ^a	23.8 ^b	0.09 ^a	–	0.09 ^c
M	–	59.4 ^b	–	20.3 ^b	–	0.36 ^a	0.34 ^a
CM	260.6 ^a	290.2 ^a	22.0 ^a	32.1 ^a	0.09 ^a	0.30 ^b	0.12 ^b
Mulching							
NM	273.9 ^a	208.4 ^a	22.0 ^a	23.7 ^a	0.08 ^b	0.33 ^a	0.18 ^a
WM	266.3 ^a	211.1 ^a	23.8 ^a	27.1 ^a	0.09 ^a	0.33 ^a	0.18 ^a
CV (%)	16.2	30.2	20.5	22.1	7.2	6.3	5.7

CV: coefficient of variation. C: monocropped cactus. M: monocropped millet. CM: cactus-millet intercrop. NM: without mulching. WM: with mulching. The same letters in a column do not differ statistically by Tukey's test at 5% probability. For more details, see Supplementary Tables S1 and S2

Table 3: Fresh matter (FM) yield and dry matter (DM) yield in the millet under different cropping systems, with and without mulching

Mulching	FM (t ha ⁻¹)		DM (t ha ⁻¹)		
	Cropping systems		Cropping systems		
	M	CM	Mulching	M	CM
NM	49.1 ^{aB}	28.4 ^{bA}	NM	17.2 ^{aB}	9.8 ^{bA}
WM	69.7 ^{aA}	31.0 ^{bA}	WM	23.4 ^{aA}	10.3 ^{bA}

M: monocropped millet. CM: cactus-millet intercrop. NM: without mulching. WM: with mulching. The same uppercase letters in a column and lowercase letters in a row do not differ statistically by Tukey's test at 5% probability. Coefficient of variation (CV) in FM = 8.4%. CV in DM = 9.6%. For more details, see Supplementary Table S2.

produtividade e na LER



Table 4: Land equivalency ratio (LER), area time equivalent ratio (ATER), land equivalent coefficient (LEC), system productivity index (SPI) and monetary advantage index (MAI, BRL ha⁻¹) in the cactus-millet intercrop (CM), with (WM) and without mulch (NM)

Treat.	LER _c	LER _m	LER	ATER	LEC	SPI	MAI
CMNM	0.90	0.98	1.48	1.24	0.53	35.2	8 967.50
CMWM	0.92	0.44	1.36	1.17	0.40	33.4	7 840.31
SL	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Treat: treatment. LER_c: partial LER of the cactus. LER_m: partial LER of the millet. LER: total LER. SL: significance level. ns: not significant by F-test. For more details, see Supplementary Table S4.

Table 2
Chemical-bromatological parameters of the forage cactus clones (*Opuntia* and *Nopalea*) in a single cultivation system and intercropped with sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).

Variable (g kg ⁻¹)	Forage cactus clones intercropped with sorghum cultivars									Single clones		
	OEM '467'	OEM 'SF11'	OEM '2502'	IPA '467'	IPA 'SF11'	IPA '2502'	Miu '467'	Miu 'SF11'	Miu '2502'	OEM Single	IPA Single	Miu Single
TDM	7.92	7.28	7.86	6.36	6.80	6.01	7.34	7.92	7.65	6.95	6.86	6.99
CP	4.01	4.65	4.06	3.57	4.51	4.80	4.07	3.24	2.14	4.09	4.10	3.76
TC	74.77	74.55	74.95	74.35	70.00	69.52	73.21	76.38	73.21	70.95	70.39	65.46
EE	1.22	0.97	0.96	1.10	1.97	1.60	0.99	0.92	1.51	1.74	0.84	2.60
NDF	16.86	17.13	18.59	24.46	16.25	16.22	13.83	15.07	9.00	19.74	17.17	29.13
ADF	3.09	3.10	3.36	7.99	3.59	3.74	2.73	3.04	4.28	3.57	3.52	3.39
MM	19.99	19.81	20.01	20.97	23.51	24.06	21.72	19.45	23.12	23.21	24.66	28.17
DIV _{DM}	76.50	77.64	81.03	89.61	84.90	79.90	82.82	85.81	81.11	80.07	87.24	83.47

OEM - 'Orelha de Elefante Mexicana'; IPA - 'IPA Sertânia'; Miu - 'Miúda'. Sorghum cultivars - '467', 'SF11' and '2502'; TDM - Total dry matter; CP - Crude protein; TC - Total carbohydrates; EE - Ether extract; NDF - Neutral detergent fibre; ADF - Acid detergent fibre; MM - Mineral matter; DIV_{DM} - *In vitro* dry matter digestibility. ²Chemical and bromatological data relative to the final cycle of the sorghum crop. ³Chemical and bromatological data relative to the cycle two of the forage cactus. Mean values followed by the same letters on a line do not differ statistically by Tukey's test at 0.05 probability level.

Table 3
Indices of forage efficiency in forage cactus clones (*Opuntia* and *Nopalea*) intercropped with sorghum cultivars (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).

Treatment	LER _c	LER _s	LER _{Total}	ATER	LEC	SPI	MAI
OEM-'2502'	0.81	0.42 ab	1.23 ab	.14	0.34	14.53 ab	-30.05d
OEM-'467'	1.01	0.50 ab	1.51 ab	.41	0.50	17.57a	11,217.38b
OEM-'SF11'	0.66	0.36b	1.02b	.95	0.24	12.57abc	-325.51d
IPA-'2502'	0.64	1.00a	1.64 ab	.42	0.42	7.23c	1652.53c
IPA-'467'	0.47	0.98a	1.45 ab	.24	0.41	6.25c	13,775.37b
IPA-'SF11'	0.99	0.94 ab	1.93a	.73	0.81	8.29bc	26,518.44a
Miu-'2502'	0.47	0.72 ab	1.19 ab	.04	0.34	6.81c	-303.85d
Miu-'467'	0.69	0.91 ab	1.60 ab	.41	0.57	8.90bc	15,168.34b
Miu-'SF11'	0.78	0.72 ab	1.50 ab	.34	0.57	8.53bc	13,086.74b

OEM - 'Orelha de Elefante Mexicana'; IPA - 'IPA Sertânia'; Miu - 'Miúda'. Sorghum cultivars - '467', 'SF11' and '2502'; LER_c - Partial land equivalent ratio of the forage cactus; LER_s - Partial land equivalent ratio of the sorghum; LER_{Total} - Total land equivalent ratio; ATER - Area time equivalent ratio; LEC - Land equivalent coefficient; SPI - System productivity index (Mg DM ha⁻¹); MAI - Monetary advantage index (BRL ha⁻¹). Mean values followed by the same letters within the same index do not differ statistically by Tukey's test at 0.05 probability level. ¹Data relative to the 2nd of forage cactus.

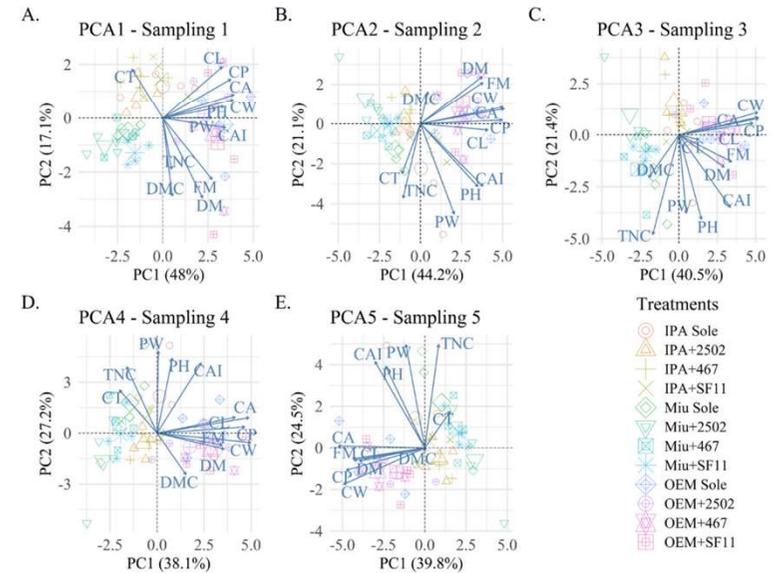
Table 4
Indices of competitive ability in forage cactus clones (*Opuntia* and *Nopalea*) intercropped with sorghum cultivars (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).

Treatment	K _{cs}	K _{sc}	K	CR _c	CR _s	A _{cs}	A _{sc}	ALGY _c	ALGY _s	ALGY
OEM-'2502'	-28.61	0.20	-8.30 ab	8.54a	0.13	3.55	-3.55	407.06	51.81 ab	458.88
OEM-'467'	19.50	0.26	2.7 ab	8.21 ab	0.13	4.44	-4.44	506.70	62.21 ab	568.91
OEM-'SF11'	29.97	0.15	4.18 ab	7.45 ab	0.14	2.87	-2.87	331.82	44.63b	376.46
IPA-'2502'	-0.34	0.62	-0.58 ab	4.08 ab	7.36	1.96	-1.96	320.89	124.24a	445.14
IPA-'467'	8.77	3.88	19.61a	2.20b	2.18	1.14	-1.14	236.12	121.93a	358.05
IPA-'SF11'	-14.01	0.72	-19.40b	4.94 ab	0.73	3.77	-3.77	494.96	117.33 ab	612.29
Miu-'2502'	4.18	-0.49	-0.59 ab	2.86 ab	0.41	1.49	-1.49	238.96	89.48 ab	328.44
Miu-'467'	-1.50	0.28	0.96 ab	3.75 ab	0.43	2.31	-2.31	345.58	113.63 ab	459.22
Miu-'SF11'	21.10	0.81	20.39a	4.33 ab	0.24	3.00	-3.00	390.14	89.22 ab	479.35

OEM - 'Orelha de Elefante Mexicana'; IPA - 'IPA Sertânia'; Miu - 'Miúda'. Sorghum cultivars - '467', 'SF11' and '2502'; K_{cs} - Coefficient of relative density of the cactus over the sorghum; K_{sc} - Coefficient of relative density of the sorghum over the cactus; K - Coefficient of relative density; CR_c - Competitiveness ratio of the cactus; CR_s - Competitiveness ratio of the sorghum; A_{cs} - Aggressiveness of the cactus over the sorghum; A_{sc} - Aggressiveness of the sorghum over the cactus; ALGY_c - Actual loss or gain in yield of the cactus; ALGY_s - Actual loss or gain in yield of the sorghum; ALGY - Actual loss or gain in yield. Mean values followed by the same letters within the same index do not differ statistically by Tukey's test at 0.05 probability level. ¹Data relative to the 2nd of forage cactus.

Jardim et al. (2021)

- ✓ No consórcio não há efeitos sobre a maioria dos parâmetros químico-bromatológicos;
- ✓ Há vantagens para todos os arranjos de clones de palma e cultivares de sorgo (LER>1);
- ✓ A palma é a espécie mais agressiva;
- ✓ Quem explica a variação da fitomassa do sistema são as dimensões do cladódio.



OEM - Orelha de Elefante Mexicana; IPA - IPA Sertânia; Miu - Miúda; Sole - Sole cropping; PH - Plant height; PW - Plant width; TNC - Total number of cladodes; CL - Cladode length; CW - Cladode width; CT - Cladode thickness; CP - Cladode perimeter; CA - Cladode area; CAI - Cladode area index; FM - Fresh mass; DM - Dry mass; DMC - Dry mass content
Figure 2. Principal component analyses between morphometric and phytomass variables of forage cactus clones under sole crop system and intercropping with sorghum cultivars (467, SF11 and 2502) at 126, 280, 317, 413, and 455 days after cutting (Samplings 1, 2, 3, 4 and 5 refer to Figures 2A, B, C, D and E, respectively)

Jardim et al. (2020)

Consórcio palma-milheto irrigado: crescimento e fenologia

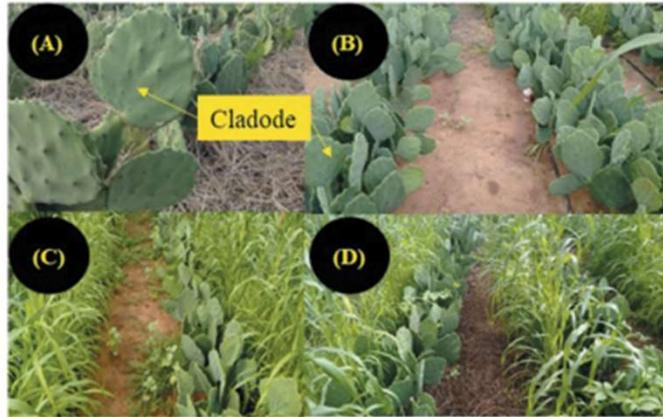


Figure 1. Experimental images corresponds to the cropping systems: monocropped cactus with mulch (A), monocropped cactus with no mulch (B), intercropped cactus with no mulch (C), and intercropped cactus with mulch (D).

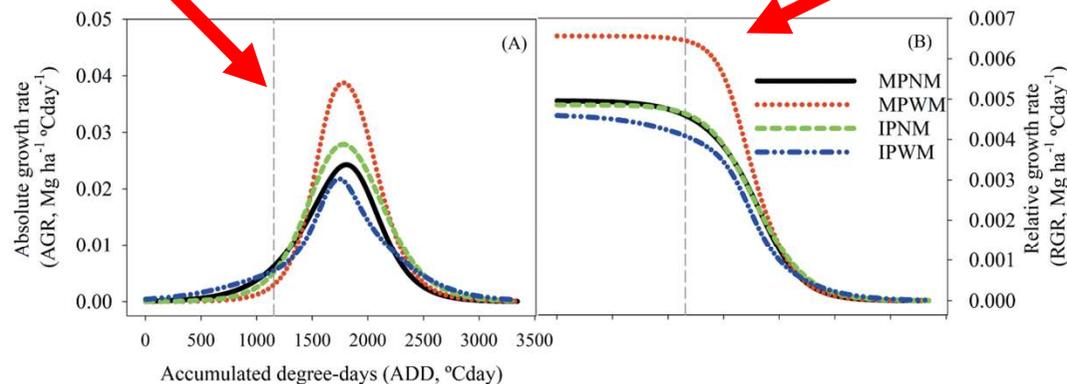


Figure 3. Absolute growth rate (A) and relative growth rate (B) of the forage cactus grown in a monocrop system (MP) and intercropped with millet (IP), with (WM) and without (NM) mulch, for accumulated degree-days. The vertical dashed line corresponds to the start of the treatments.

✓ Os impactos do consórcio na taxa de crescimento e mudanças na fenologia da palma são remediados pelo o uso de cobertura morta!

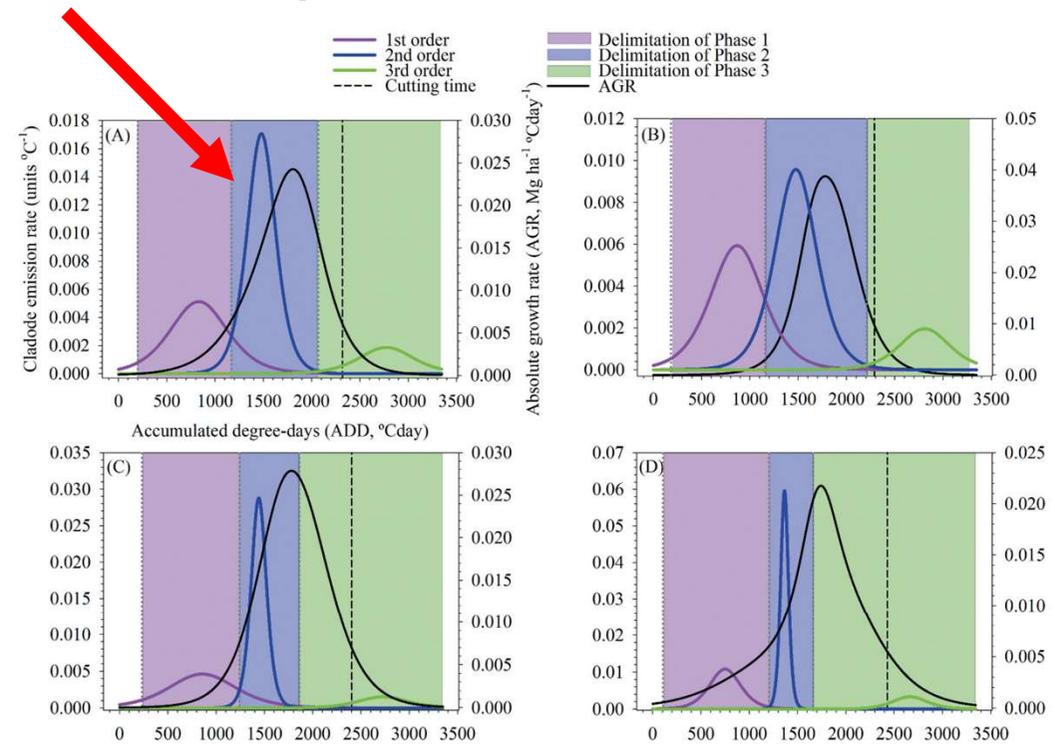


Figure 5. Phenological phases and cutting time in monocropped cactus with no mulch – MPNM (A), monocropped cactus with mulch – MPWM (B), intercropped cactus with no mulch – IPNM (C) and, intercropped cactus with mulch – IPWM (D) for accumulated degree-days.

Consórcio modifica a P_g , $[CO_2]_i$ e EUA_i da palma

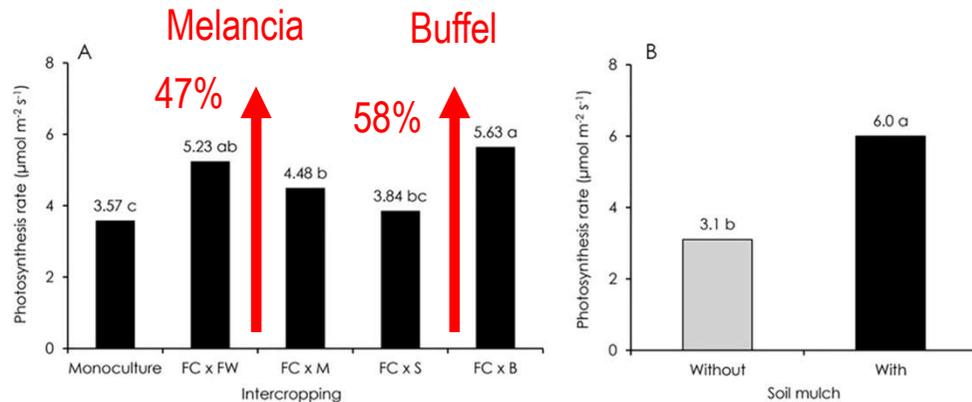


Figure 2. Photosynthesis rate (A) in forage cactus plants (*Nopalea Cochenillifera* Salm Dick) as a function of different intercropping systems (A) and soil mulch (B). FC = Forage cactus; FW = Forage watermelon; M = Millet; S = Sorghum; B = Buffelgrass. Columns with the same letters do not differ from each regarding the type of intercropping by Tukey's test at $p \leq 0.05$ (A).

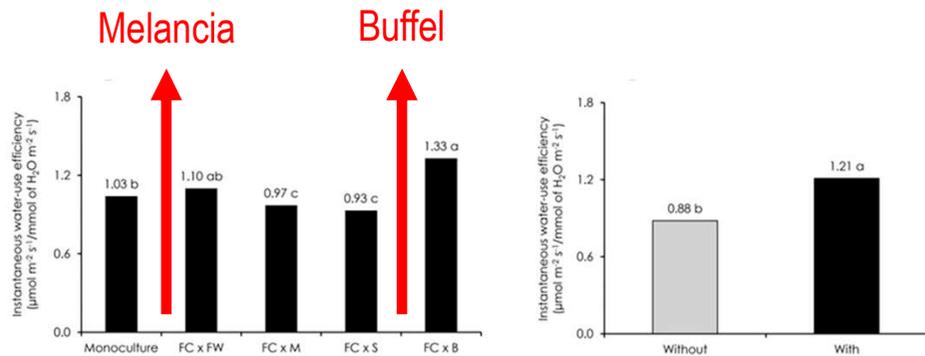


Figure 4. Instantaneous carboxylation efficiency (iCE) as a function of the use of mulch (A) and instantaneous water-use efficiency (WUE) in *Nopalea* forage cactus plants (*Nopalea Cochenillifera* Salm Dick) as a function of different intercropping types (B) in the soil without and with mulch (C). FC = Forage cactus; FW = Forage watermelon; M = Millet; S = Sorghum; B = Buffelgrass. Columns with the same letters do not differ from each other regarding the type of intercropping by Tukey's test at $p \leq 0.05$ (A).

- ✓ O consórcio da palma com **culturas de porte mais baixos** pode **compensar as perdas brutas de fotossíntese**, devido o efeito da consorciação na área fotossintetizante da palma!
- ✓ O **uso da cobertura morta** é estratégico para \uparrow EUA_i e **reduz a disparidade entre os consórcios** (i.e., Milheto, Sorgo e Buffel).

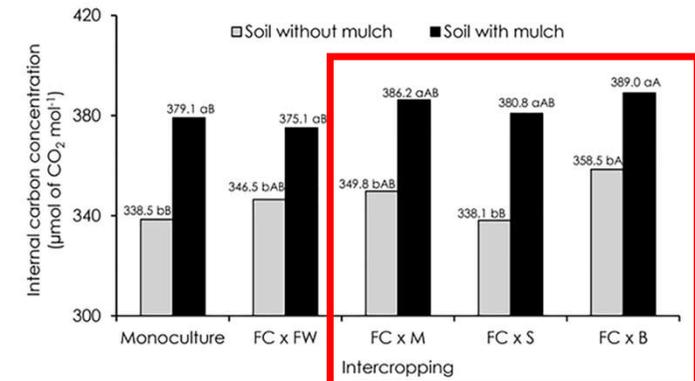
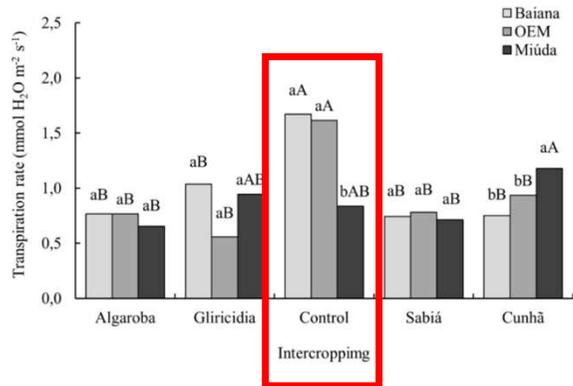


Figure 3. Internal carbon concentration (C_i) in forage cactus plants (*Nopalea Cochenillifera* Salm Dick) as a function of different types of intercropping in the soil without and with mulch. FC = Forage cactus; FW = Forage watermelon; M = Millet; S = Sorghum; B = Buffelgrass. Columns with the same lowercase letters in the same intercropping type do not differ regarding the mulch factor, and columns with the same uppercase letter do not differ as for the intercropping type by Tukey's test at $p \leq 0.05$.

Consórcios com arbóreas aumenta a captação CO₂ e EUAi da palma

↓ Rs
↓ DPV

Figure 2. Transpiratory rate of forage palm genotypes irrigated with reuse water, 24 months after planting, depending on the intercropping approach used



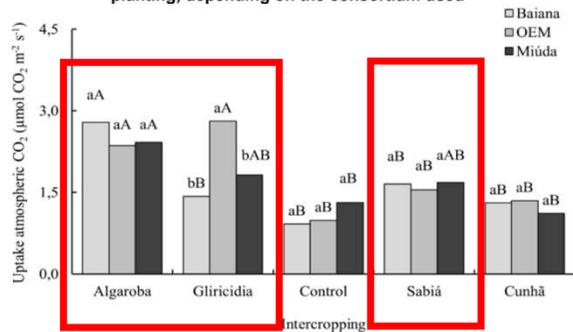
Means followed by the same lowercase letters between the intercropping type and capital letters between the forage cactus varieties are equal to each other by Tukey's test at 5% probability.

Source: Authors (2022).

Souza et al. (2023)

- ✓ Independentemente do clone de palma, os consórcios com Algaroba, Gliricidia e Sabiá são beneficiados, por causa do microclima criado, que permite a injeção de CO₂, por meio respiração das arbóreas e, ou, atividades de decomposição da serapilheira por parte dos microrganismos.

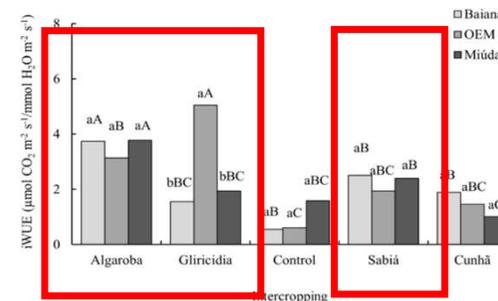
Figure 3. CO₂ uptake rate of forage palm genotypes irrigated with reuse water, 24 months after planting, depending on the consortium used



Means followed by the same lowercase letters between the intercropping type and capital letters between the forage cactus varieties are equal to each other by Tukey's test at 5% probability.

Source: Authors (2022).

Figure 4. Instantaneous water use efficiency of forage cactus genotypes irrigated with reuse water, 24 months after planting, depending on the intercropping approach used



Means followed by the same lowercase letters between the intercropping type and capital letters between the forage cactus varieties are equal to each other by Tukey's test at 5% probability.

Source: Authors (2022).

Mas a depender da consorciação, arranjo do cultivo...

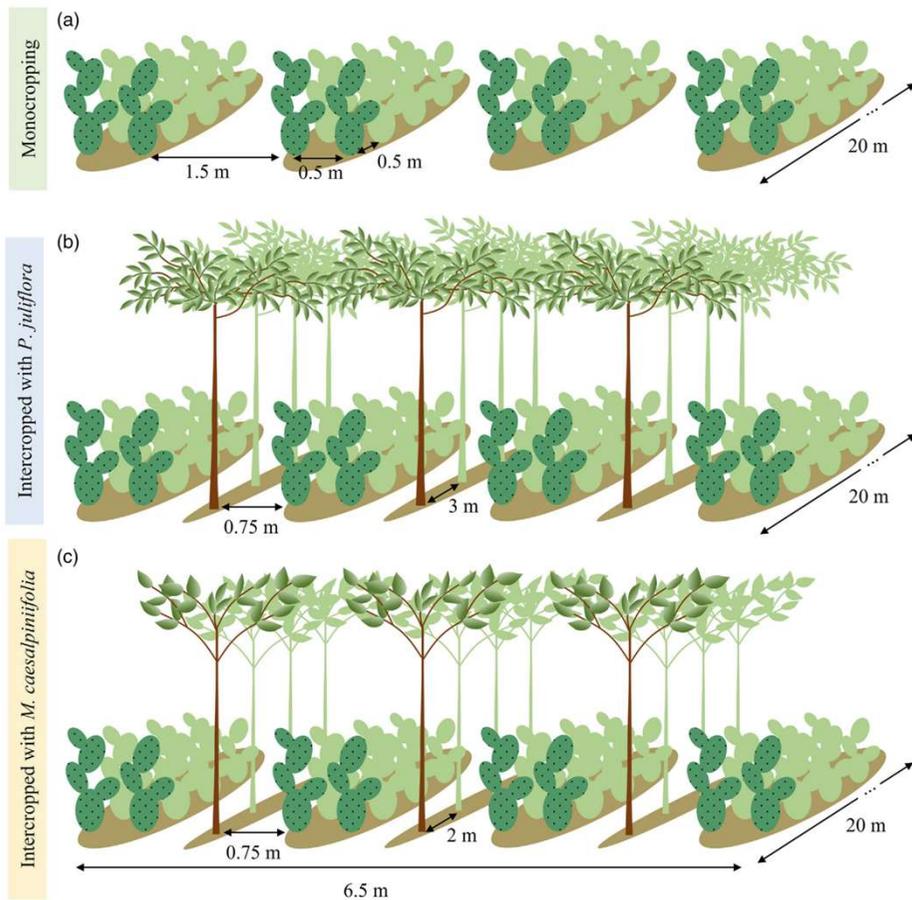


FIGURE 1 Representation of an experimental unit for the forage cactus genotypes in (a) monocropping, (b) intercropped with *Prosopis juliflora*, and (c) intercropped with *Mimosa caesalpiniiifolia*

Genótipos de palma forrageira consorciados com espécies madeireiras apresentaram **menor peso de cladódio, produção de matéria seca e capacidade de suporte** do que genótipos de palma forrageira em monocultivo em condições semiáridas e irrigadas com efluente doméstico tratado.

O desempenho da palma forrageira foi semelhante no consórcio com *M. caesalpiniiifolia* e *P. juliflora*.



Lira et al. (2022)

A produtividade da palma é melhorada no Sistema Agroflorestal com gliricídia adubada com esterco bovino

Destaques:

- ↑ Produtividade individual da IPA Sertânia
- ↓ A produtividade e acúmulo de nutrientes dependem da distância das árvores
- ↑ Carbono orgânico total é melhorada na estação chuvosa

Camelo et al. (2021)

Table 3. Productivity of forage cactus clone IPA Sertânia in different cropping systems and manure sources.

Cropping System *	Cattle	Goat	Broiler Litter	Sheep
	Mg DM ha ⁻¹ Year ⁻¹			
Forage cactus + Leucena	20.2 aA	16.6 aB	14.2 bB	16.4 aB
Forage cactus + Gliricidia	21.7 aA	17.3 aB	17.4 abB	16.5 aB
Forage cactus	15.4 bB	16.0 aB	19.4 aA	16.6 aB
CV (%)	12			

Different uppercase (row) and lowercase (column) letters indicate a significant difference ($p < 0.05$) by the PDIFF adjusted for Tukey. CV, coefficient of variation. * Biennial production.

Camelo et al. (2021)

Table 9. Nutrient concentrations (N, P, and K) of forage cactus at different distances from legume trees.

Element (g kg ⁻¹)	Distance (m)				Equation	p	R ²
	1	2	3	4			
N	0.91	0.79	0.83	0.80	$Y = 0.02x^2 - 0.14x + 1.01$	<0.0001	1
P	0.20	0.19	0.20	0.17	$Y = -0.01X^3 + 0.07X^2 - 0.15X + 0.29 - 0.003x^2 + 0.01x + 0.19$	0.0004	1
K	2.06	1.82	1.55	1.36	$Y = 0.01x^2 - 0.30x + 2.35$	<0.0001	1

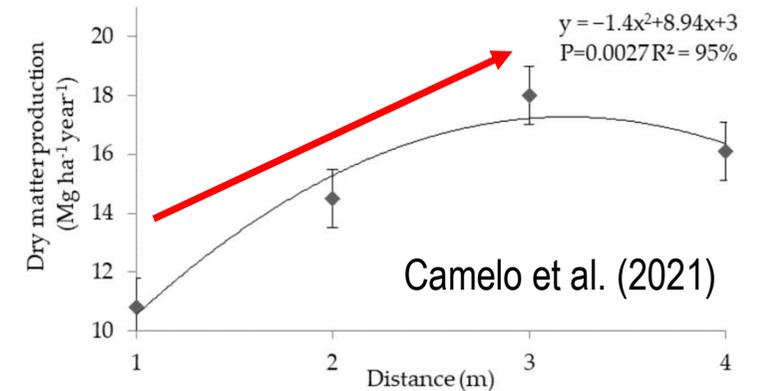


Figure 3. Forage production of the forage cactus IPA Sertânia at different distances from the arboreal legumes.

Saraiva et al. (2022)

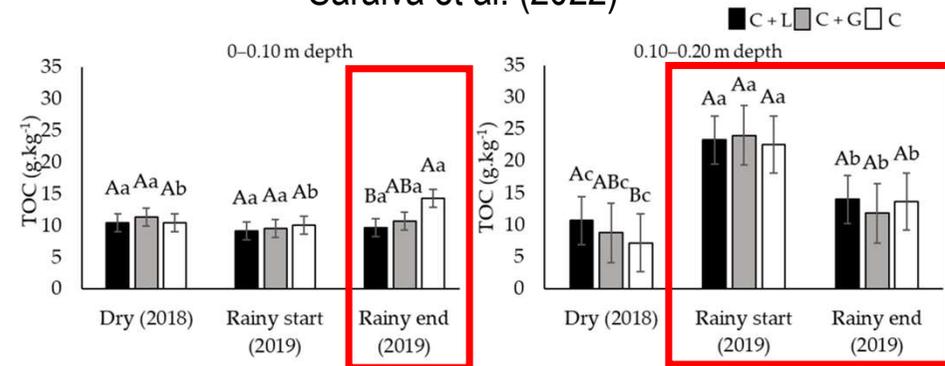
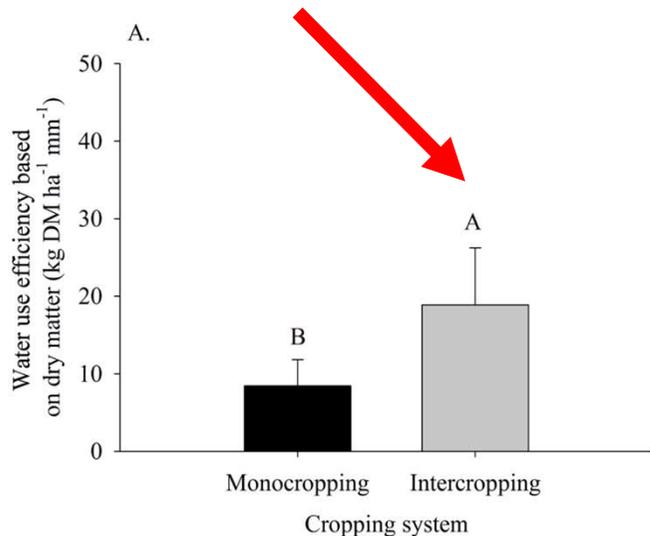


Figure 4. Total organic carbon (TOC) in the soil of different cactus cropping systems at different sampling dates. C + L: cactus + leucaena; C + G: cactus + gliricidia; C: cactus in monoculture. Different capital letters indicate significant difference ($p < 0.10$) within each period of the year; different small case letters indicate significant difference within each cropping system ($p < 0.10$) by PDIFF adjusted to Tukey. Bars indicate the standard error of the mean.

Uso da água no Consórcio palma-sorgo irrigado

- ✓ 1º ciclo: 13 meses de palma solteira com manutenção dos cladódios de 1ª ordem
- ✓ 2º ciclo: **+2,6xMS** (Lima et al., 2018) e 3º ciclo OEM-'SF15'(2 ciclos): **+140%MV e +2,4xMS** (Diniz et al., 2017)



Columns followed by the same uppercase letters do not differ in the cropping systems. Columns followed by the same lowercase letters do not differ in the irrigation depths (LSD test, 0.05) Figure 4. (A) Effects of forage cactus sorghum intercropping and (B) of its interaction with irrigation depths plus rainfall of 393 mm year⁻¹ on water use efficiency based on dry matter

Table 2. Individual productivity on fresh basis (FM) and on dry basis (DM), and dry matter content (DMC) of 'Orelha de Elefante Mexicana' forage cactus (*Opuntia stricta*) and 'SF-15' sorghum (*Sorghum bicolor*), in single crop system and intercropping system (forage cactus-sorghum), under different irrigation water depths (saline water irrigation at 355, 563, 725, 867, and 1,012 mm per year, plus rainfall), in the Brazilian Semiarid Region⁽¹⁾.

Crop	Planting system	FM (kg ha ⁻¹)	DM (kg ha ⁻¹)	DMC
Forage cactus	Single crop	44,009aB	4,627aB	0.11bC
	Intercropping	25,410b	3,573a	0.14a
Sorghum	Single crop	62,013aA	14,073aA	0.22aA
	Intercropping	34,665b	8,557b	0.21a
Forage cactus-sorghum	Single crop	60,075A	12,130A	0.19B

⁽¹⁾Means followed by equal lowercase letters, in the same crop, and uppercase letters, between planting systems, do not differ by the Tukey's test, at 5% of probability.

Lima et al. (2018a)

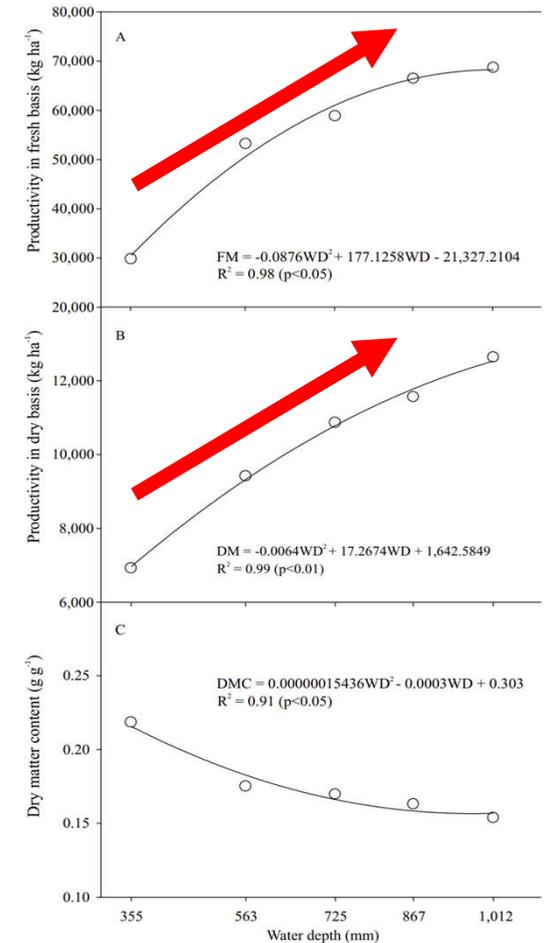


Figure 3. Effect of irrigation water depths (WD, saline water at 355, 563, 725, 867, and 1,012 mm per year, plus rainfall) on productivity: A, on fresh basis (FM); B, on dry basis (DM); and C, content of dry matter (DMC) of 'Orelha de Elefante Mexicana' forage cactus (*Opuntia stricta*)-'SF-15' sorghum (*Sorghum bicolor*) intercropping, in the Brazilian Semiarid Region.

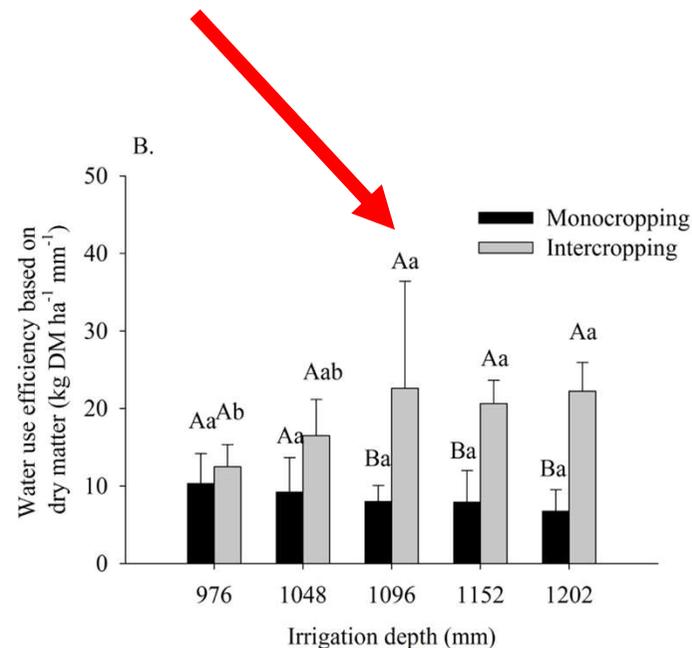
Table 1. Effects of the interaction between irrigation depths (583, 655, 703, 759 and 809 mm year⁻¹ plus rainfall of 393 mm year⁻¹) and cropping system (forage cactus monocropping and forage cactus sorghum intercropping) on forage cactus cladode growth

Cropping systems	Irrigation depths + Rainfall (mm year ⁻¹)				
	583 + 393 976	655 + 393 1048	703 + 393 1096	759 + 393 1152	809 + 393 1202
Fresh biomass of first-order cladode (g)					
Monocropping	656.0 Ab	581.9 Ab	858.0 Aa	572.7 Ab	622.6 Ab
Intercropping	669.3 Abc	679.4 Abc	509.8 Bc	559.7 Abc	725.7 Aab
Dry biomass of first-order cladode (g)					
Monocropping	68.1 Abc	67.1 Bbc	80.0 Aa	65.5 Abc	69.9 Abc
Intercropping	67.5 Abc	74.6 Aa	66.2 Bc	66.4 Abc	70.7 Aabc

Means followed by the same uppercase letters in the column do not differ statistically within the same water depth, while means followed by the same lowercase letters in the row do not differ statistically within the same cropping system, at 0.05 significance level by the LSD test

Eficiência do sistema de produção no uso da água – Sob condições plenas

O consórcio aumenta a eficiência de uso da água do sistema de produção!



Columns followed by the same uppercase letters do not differ in the cropping systems. Columns followed by the same lowercase letters do not differ in the irrigation depths (LSD test, 0.05) Figure 4. (A) Effects of forage cactus sorghum intercropping and (B) of its interaction with irrigation depths plus rainfall of 393 mm year⁻¹ on water use efficiency based on dry matter

Lima et al. (2018b)

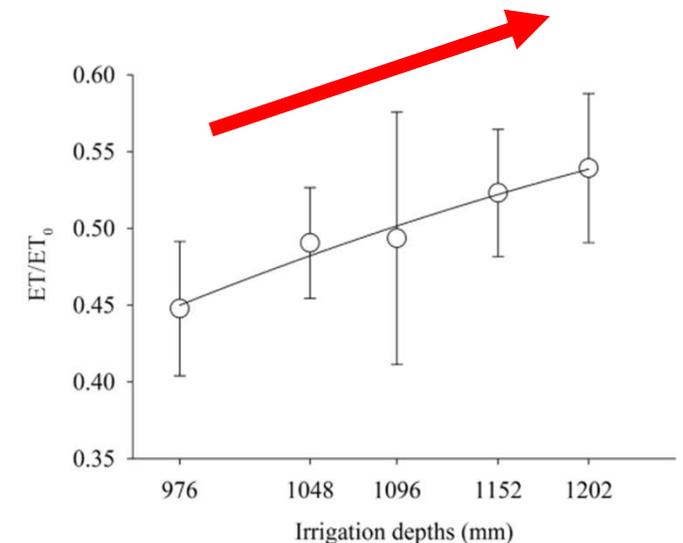


Figure 3. Effect of irrigation depths (mean of 583, 655, 703, 759 and 809 mm year⁻¹ plus rainfall of 393 mm year⁻¹) on the ET/ET₀ ratio of forage cactus

Consórcio de palma pode ou não aumentar o consumo de água do sistema

Kc da palma e do milho em sistemas de produção de consórcio, com e sem uso de cobertura morta

Araújo Jr. (2022)

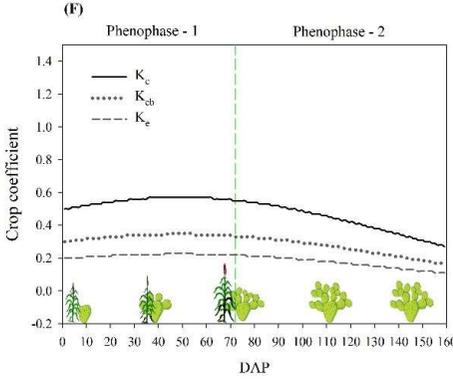
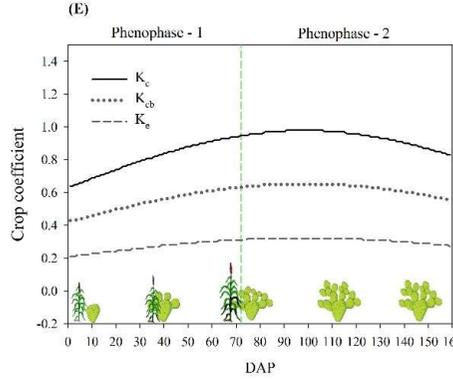
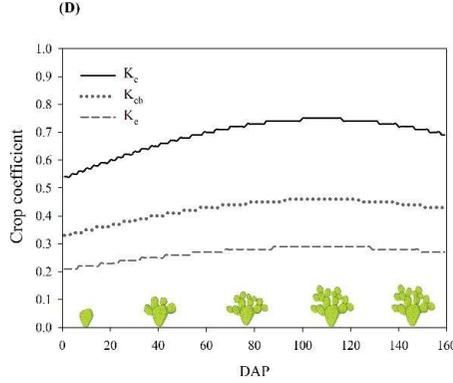
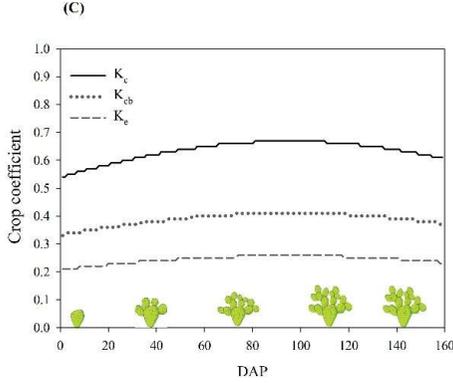
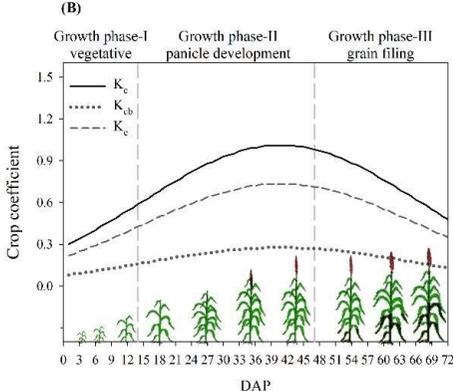
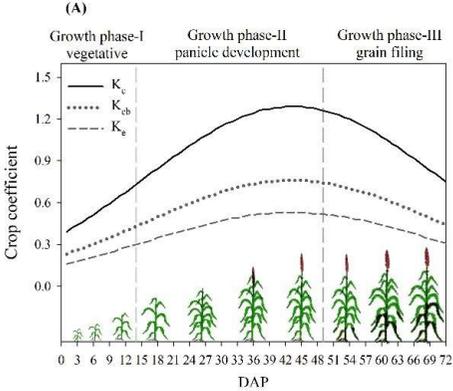
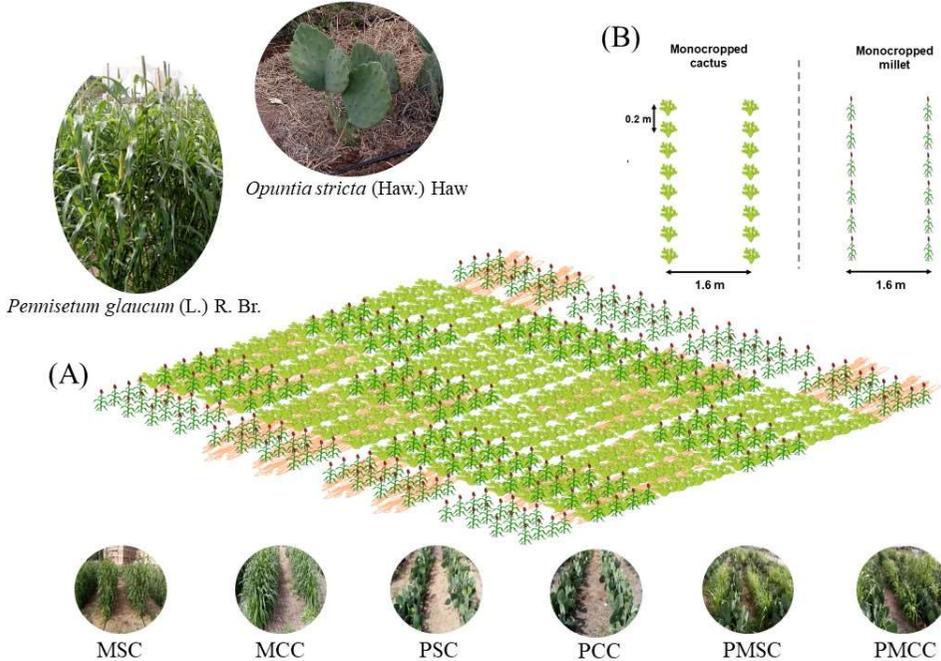


Table 2

Heatmap of the effect of spacing between plants (0.10, 0.20, 0.30, 0.40 and 0.50 m) and rows (1.00, 1.25, 1.50 and 1.75 m), planting orientation (E-W: east-west; N-S: north-south), nitrogen fertilisation (50, 150, 300 and 450 kg ha⁻¹) and intercropping with sorghum on forage cactus water indices.

Site		I	I	I	I	I	II	II	II	II	II	III	III	III	III	IV	IV	IV	IV
Variable	Unit	E-W	E-W	E-W	E-W	E-W	N-S	N-S	N-S	N-S	N-S	RS	RS	RS	RS	NL	NL	NL	NL
		(0.1)	(0.2)	(0.3)	(0.4)	(0.5)	(0.1)	(0.2)	(0.3)	(0.4)	(0.5)	(1.00)	(1.25)	(1.50)	(1.75)	(50)	(150)	(300)	(450)
DMYt-Sor	kg m ⁻²	3.42	4.04	3.68	4.16	4.73	4.13	3.93	4.18	4.68	4.32	2.94	4.46	5.57	5.79	-	-	-	-
DMYt	kg m ⁻²	7.71	7.17	7.14	6.23	6.91	6.20	6.12	7.41	6.89	6.95	4.92	6.48	8.76	8.14	1.34	2.37	2.21	1.80
WUE	-	0.74	0.74	0.74	0.74	0.63	0.69	0.69	0.70	0.70	0.73	0.56	0.57	0.69	0.65	0.76	0.72	0.59	0.46
WPcET	kg m ⁻³	5.75	5.31	5.31	4.62	6.04	4.95	4.83	5.76	5.35	5.17	4.79	6.20	6.89	6.85	0.97	1.80	2.06	2.12
WPcT _{WU}	kg m ⁻³	4.23	3.94	3.92	3.42	3.80	3.39	3.35	4.05	3.77	3.8	2.69	3.54	4.79	4.45	0.73	1.30	1.21	0.98
WP _{ID}	kg m ⁻³	5.07	4.72	4.70	4.10	4.55	4.08	4.03	4.88	4.53	4.57	3.24	4.26	5.76	5.36	0.88	1.56	1.45	1.18

Note: the color assessment must be done within each of the variables.

Eficiência do sistema de produção no uso da água é aumentada em condições de restrições hídricas!

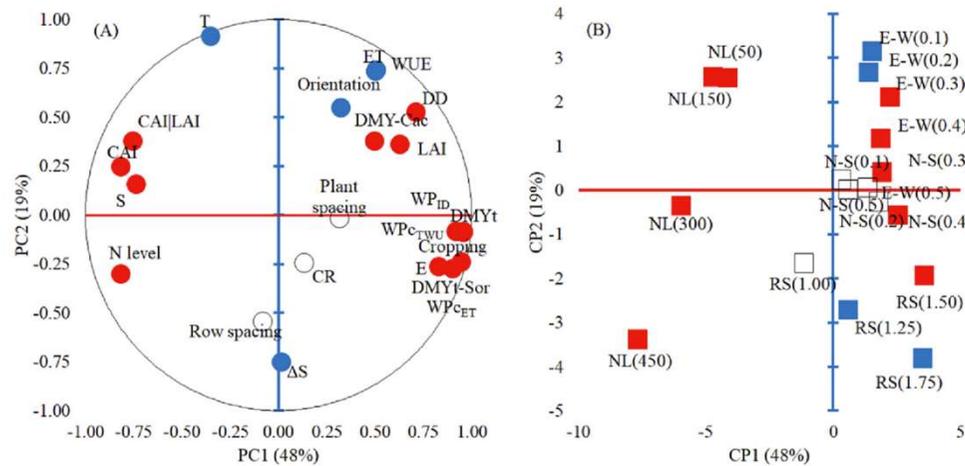
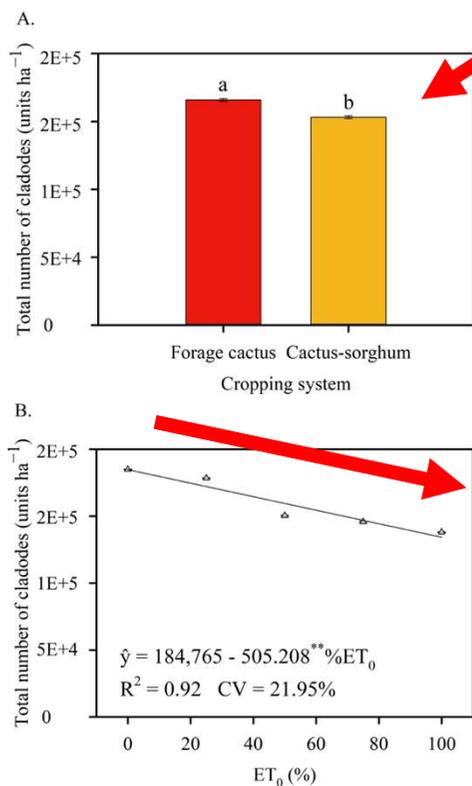


Fig. 6. Principal component analysis between water indicators (WUE, WPcET, WPcT_{WU}, WP_{ID}), dry matter accumulation (DMY-Cac) and cladode area index (CAI) of forage cactus, total dry matter accumulation (DMYt-Sor) of sorghum and mean leaf area index (LAI) of the four sorghum cycles, the average CAI/LAI, total dry matter accumulation (DMYt = DMY-Cac + DMYt-Sor), soil water balance components (ET - evapotranspiration, T - transpiration, E - evaporation, CR - capillary rise, DD - deep drainage, S - soil water storage, ΔS - soil water storage variation) and different management practices adopted (plant spacing: 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 and 0.50 m; row spacing (RS): 1.00, 1.25, 1.50 and 1.75 m; Orientation: north-south (N-S), east-west (E-W); N level (NL): 50, 150, 300 and 450 kg ha⁻¹). The red symbols indicate the variables and management in CP1, and the blue symbols belong to CP2. The leaked symbols belong to CP3 onwards.

Sob restrições hídricas sazonais, o WUE depende da orientação de cultivo e da ΔA, enquanto a WPcET depende da Ysorgo e dos níveis de N.

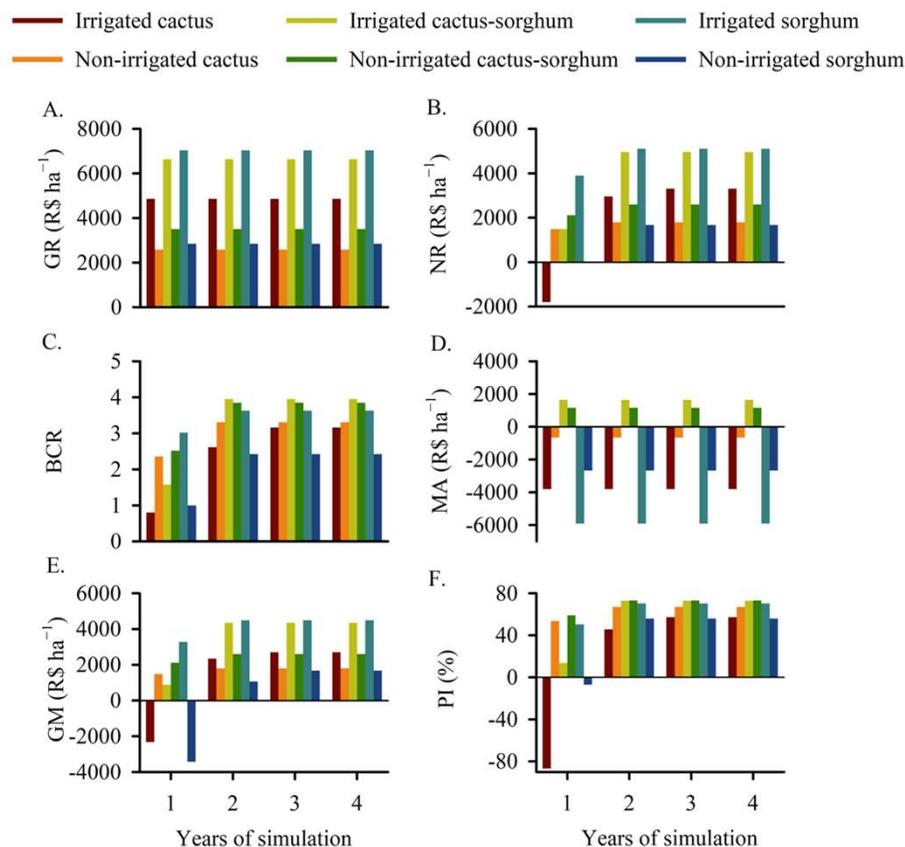
Silva et al. (2023a)

A adoção do consórcio palma-sorgo irrigado **paga os custos de produção a partir do 2º ano**



** - Significant at $p \leq 0.01$ by the F test; Means followed by different letters indicate significant difference ($p \leq 0.05$) by the Tukey's test; CV - Coefficient of variation; The vertical bars - Standard error of the mean

Figure 2. The total number of cladodes (TNC) of forage cactus clone Orelha de Elefante Mexicana in the single (forage cactus) and intercropping (forage cactus-sorghum) system (A), and the TNC in the single system as a function of irrigation depth (B)



GR - Gross revenue; NR - Net revenue; BCR - Benefit-cost ratio; MA - Monetary advantage; GM - Gross margin; PI - Profitability index

Figure 3. The profitability of forage cactus (*O. stricta* (Haw.)) and sorghum (*S. bicolor* (L.) Moench) under irrigated and rainfed conditions in single and intercropping systems in the municipality of Serra Talhada, PE, Brazil

Silva et al. (2023b)

O efeito do adensamento no consórcio palma-sorgo (**espaçamento entre cladódios**)

- Clone: OEM
- Cultivar: '467'
- Espaçamento entre fileiras: 1m
- Espaçamento entre palma e sorgo: 0,25 m
- Irrigação com base no 120%.ETc da palma;
- Entrada do consórcio: 7 meses depois de planta a palma foi cortada, mantendo-se cladódios de 1ª ordem;
- Cortes: 13 meses de ciclo de palma e 4 ciclos de sorgo;
- Adubação com base na exigência da palma (NPK).



VARIANDO O ESPAÇAMENTO ENTRE RAQUETES:

- ✓ 100.000 pl./ha (palma) + 200.000 pl./ha (sorgo) = 300.000 pl./ha (0,10 m): **587 Mg MV ha⁻¹**;
- ✓ 50.000 pl./ha (palma) + 200.000 pl./ha (sorgo) = 250.000 pl./ha (0,20 m): **496 Mg MV ha⁻¹**
- ✓ 33.333 pl./ha (palma) + 200.000 pl./ha (sorgo) = 233.333 pl./ha (0,30 m): **443 Mg MV ha⁻¹**
- ✓ 25.000 pl./ha (palma) + 200.000 pl./ha (sorgo) = 225.000 pl./ha (0,40 m): **373 Mg MV ha⁻¹**
- ✓ 20.000 pl./ha (palma) + 200.000 pl./ha (sorgo) = 220.000 pl./ha (0,50 m): **354 Mg MV ha⁻¹**



Alves et al. (2022)

O efeito do adensamento no consórcio palma-sorgo (espaçamento entre fileiras)

- Clone: OEM
- Cultivar: '467'
- Espaçamento entre raquetes: 0,20 m
- Espaçamento entre palma e sorgo: 0,25 m
- Irrigação com base no 120%.ETc da palma;
- Entrada do consórcio: 7 meses depois de planta a palma foi cortada, mantendo-se cladódios de 1ª ordem;
- Cortes: 13 meses de ciclo de palma e 4 ciclos de sorgo;
- Adubação com base na exigência da palma (NPK).



VARIANDO O ESPAÇAMENTO ENTRE FILEIRAS:

- ✓ 50.000 pl./ha (palma) + 200.000 pl./ha (sorgo) = 250.000 pl./ha (1,00 m): **631 Mg MV ha⁻¹**;
- ✓ 40.000 pl./ha (palma) + 160.000 pl./ha (sorgo) = 200.000 pl./ha (1,25 m): **463 Mg MV ha⁻¹**;
- ✓ 33.333 pl./ha (palma) + 153.333 pl./ha (sorgo) = 166.666 pl./ha (1,50 m): **374 Mg MV ha⁻¹**;
- ✓ 28.571 pl./ha (palma) + 114.285 pl./ha (sorgo) = 142.856 pl./ha (1,75 m): **282 Mg MV ha⁻¹**.



Orientação de cultivo do consórcio palma-sorgo irrigado não afetou a produtividade do sistema

Alves et al. (2022)



Dry matter yield (DM) and dry matter content in the OEM clone of the forage cactus (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) and sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) variety 467, with an east-west and north-south orientation.

Dry matter yield (Mg ha ⁻¹)							
Row orientation	Variable						
	Y _{SC1}	Y _{SC2}	Y _{SC3}	Y _{SC4}	Σ _S	Y _{FC}	Y _{FC+S}
East-west	12.9	13.9	8.3	5.0	40.0	21.7a	61.7
North-south	12.7	16.4	8.1	4.5	41.4	17.5b	58.9
Mean	12.8	15.1	8.2	4.8	40.7	19.6	60.3
P-value	0.91	0.18	0.87	0.57	0.63	0.01	0.33
CV%	32.5	38.0	43.1	66.1	22.1	25.2	15.1
Dry matter content (g g ⁻¹)							
Row orientation	Variable						
	Y _{SC1}	Y _{SC2}	Y _{SC3}	Y _{SC4}	Σ _C	Y _{FC}	Y _{FC+S}
East-west	0.34	0.33	0.39	0.31	0.34	0.06	0.13
North-south	0.29	0.35	0.33	0.31	0.32	0.06	0.13
Mean	0.31	0.34	0.36	0.31	0.33	0.06	0.13

Mean values followed by the same lowercase letter in a column do not differ statistically by Tukey's test at a 5% probability level. Y – Yield; SC1, SC2, SC3 and SC4 – Sorghum Cycle 1, Cycle 2, Cycle 3 and Cycle 4, respectively; ΣS – Sum of the yield of the sorghum cycles; FC – Forage Cactus; FC + S – Sum of the Cactus-sorghum; and CV% – Coefficients of variation.

✓ Observação: No consórcio palma-sorgo não verificou-se efeito significativo.

Considerações finais

- ✓ **A consorciação de palma forrageira e outras culturas agrícolas pode aumentar a segurança hídrica e alimentar dos rebanhos e da população** frente as alterações do clima e a variabilidade ano após ano das condições meteorológicas;
- ✓ **A maior parte dos estudos de consorciação de palma está no Brasil;**
- ✓ **O consórcio** da palma com outras culturas **aumenta a produtividade, a eficiência na utilização dos recursos naturais e traz benefícios ambientais** importantes para a sustentabilidade do sistema de produção;
- ✓ **Várias intervenções de manejo devem ser consideradas para o melhorar desempenho do consórcio;**
- ✓ **Muitas experiências de consórcios** sob irrigação foram comprovadas a partir de estudos **conduzidos no CentroRef do Grupo GAS, em Serra Talhada, PE.**



**VI Congresso Brasileiro de Palma
e Outras Forrageiras para o Semiárido**



Obrigado!

thieres.silva@ufrpe.br

(87) 9 9815-5431 (WhatsApp)

Por: Thieres George Freire da Silva

Professor UFRPE/UAST, Agrometeorologista

Membro da Equipe ZARC-Palma

Coordenador do Grupo GAS (Grupo de Agrometeorologia no Semiárido)

Pesquisador CNPq

Mentor intelectual e Coordenador do SERVAGRO

Ex-Presidente da SBAgro (2017-2019, 2019-2021)



UFRPE · UAST

APLICATIVO
PLANTIO CERTO



VI Congresso Brasileiro de Palma e Outras Forrageiras para o Semiárido

