



**UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

Layana Alves do Nascimento

**Modelo de Consórcio com Eficácia Energética e Alimentar para o Polo Gesseiro do  
Araripe**

**PETROLINA**

**2023**

Layana Alves do Nascimento

**Modelo de Consórcio com Eficácia Energética e Alimentar para o Polo Gesseiro do  
Araripe**

Dissertação apresentada para aprovação no Programa de pós graduação em Ciências Ambientais do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade de Pernambuco, para obtenção de título de Mestre.

Orientador(a): Dra. Francislene Angelotti

Coorientador(a): Dr. Anderson Ramos de Oliveira

**PETROLINA**

**2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Universidade de Pernambuco  
Núcleo de Gestão de Bibliotecas e Documentação (NBID)

Nascimento, Layana Alves do

N244m      Modelo de consórcio com eficácia energética e alimentar para o polo  
geossociológico do Araripe / Layana Alves do Nascimento. – Petrolina: do  
autor, 2023.

64 f. : PDF ; 751 KB.

Orientador(a): Dra. Francislene Angelotti.

Coorientador(a): Dr. Anderson Ramos de Oliveira.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e  
Tecnologia Ambiental, Universidade de Pernambuco, *Campus* Petrolina,  
Petrolina-PE, 2023.

1. *Sorghum bicolor* (L) Moench. 2. Fisiologia. 3. Estresse abiótico. 4.  
Mudanças climáticas. I. Angelotti, Francislene. II. Oliveira, Anderson  
Ramos de. III. Universidade de Pernambuco - *Campus* Petrolina -  
PPGCTA. IV. Título.

CDD 631.58098134

LAYANA ALVES DO NASCIMENTO

**MODELO DE CONSÓRCIO COM EFICÁCIA ENERGÉTICA E ALIMENTAR  
PARA O POLO GESSEIRO DO ARARIPE**

Dissertação apresentada para aprovação no Programa de pós graduação em Ciências Ambientais do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade de Pernambuco, para obtenção de título de Mestre.

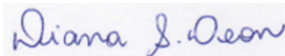
Defendida e aprovada em: 29/03/2023

**BANCA EXAMINADORA**



---

Dra. Francislene Angelotti (Orientadora)  
Embrapa Semiárido/Universidade de Pernambuco *Campus* Petrolina (UPE)



---

Dra. Diana Signor Deon (Membro interno)  
Embrapa Semiárido/Universidade de Pernambuco *Campus* Petrolina (UPE)



---

Dr. Amadeu Regitano Neto (Membro externo)  
Embrapa Semiárido (Petrolina)

**PETROLINA**

**2023**

Dedico este trabalho aos meus queridos pais (*in memoriam*), por terem sido a minha força e inspiração diária para continuar com o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado forças e saúde para o desenvolvimento e conclusão deste Trabalho.

A minha orientadora, a Dr<sup>a</sup> Francislene Angelotti, por toda paciência, incentivo, confiança, solicitude e dedicação ao longo deste trabalho. Por ser uma mulher que inspira outras mulheres.

Ao Dr. Welson Lima Simões, que desde o primeiro dia de experimento, juntamente com sua equipe, foram o meu apoio e incentivo diário.

Ao meu coorientador Dr. Anderson de Oliveira, por todo apoio ao longo deste trabalho.

A Dr<sup>a</sup> Alessandra Monteiro Salviano, pela contribuição e apoio ao longo desta pesquisa.

A equipe do laboratório de mudanças climáticas (Camila, Elioenai, Gilmara, Gláucia, Juliane e Miguel) que se fizeram presentes na condução deste trabalho, auxiliando nos momentos em que mais precisei de reforços.

Agradeço a Juliane por ter se tornado meu braço direito ao longo deste trabalho, sempre muito solícita e disposta a ajudar.

A equipe GETAI, que além companheiros de trabalho, se tornaram grandes amigos, compartilhando desde os momentos mais felizes aos mais desafiadores. Obrigada meus queridos amigos (Amon, Bruno, Jucicléia, Kaio, Márcia, Vitória, Wesley, Ytalla e Yuri) por não soltarem a minha mão.

Ao meu amigo Wesley, que se tornou um grande irmão, compartilhando todos os momentos, sempre com muito zelo e carinho.

À Universidade de Pernambuco – *Campus* Petrolina, pela oportunidade de realização do curso.

Aos meus colegas de turma, por toda troca de conhecimentos e momentos de descontração, em especial a Winglyde, Wesley e Keila, por serem os meus companheiros nos trabalhos.

À Capes pela concessão da bolsa.

À Embrapa Semiárido, por todo apoio em infraestrutura e profissional.

Aos funcionários do Campo Experimental da Caatinga, em especial à Douglas, Raimundo e Galego, por todo apoio durante a condução do experimento no campo.

A todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos, muito obrigada!

## RESUMO

NASCIMENTO, Layana Alves do. **Modelo de consórcio com eficácia energética e alimentar para o polo Gesseiro do Araripe.** 2023. 65 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Pernambuco, Petrolina, 2023.

As projeções globais indicam que a demanda por água doce, energia e alimentos aumentará significativamente nas próximas décadas sob a pressão do crescimento populacional, desenvolvimento econômico, alterações climáticas, entre outros. Frente a isso, tecnologias que promovam o desenvolvimento sustentável, por meio do uso de energia limpa, serão imperativas para o Polo Gesseiro do Araripe. Dessa forma, este trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho produtivo de cultivares de sorgo biomassa e feijão-caupi em diferentes sistemas de cultivo e épocas de plantio. O experimento foi desenvolvido no Campo Experimental da Caatinga, na Embrapa Semiárido, em Petrolina, PE. Foram utilizadas quatro cultivares de feijão-caupi: BRS Itaim, BRS Gurguéia, BRS Guariba e BRS Carijó e duas cultivares de sorgo biomassa: BRS 716 e AGRI002e em sistema consorciado e em monocultivo. As cultivares foram plantadas em duas épocas distintas: junho (época 1) e dezembro (época 2) de 2021. Foram avaliados parâmetros biométricos e produtivos do sorgo e do feijão-caupi. Os dados foram submetidos à análise multivariada. A produtividade das cultivares de sorgo biomassa não foi influenciada pelo sistema de produção, apresentando maior produção com plantio em dezembro. A escolha da época de plantio em função da temperatura e do fotoperíodo é um fator determinante para o crescimento e desenvolvimento do sorgo biomassa. Na produtividade das cultivares de feijão-caupi não houve diferença significativa para os sistemas de cultivo e épocas de plantio. Por meio do uso eficiente da terra UET o consórcio revelou vantagem sobre o monocultivo para as combinações da cultivar de sorgo BRS 716 com as cultivares de feijão-caupi BRS Carijó, BRS Guariba e BRS Gurguéia, no plantio em dezembro.

**Palavras-chaves:** *Sorghum bicolor* L. Moench; *Vigna unguiculata* L; sistema consorciado; época de plantio; fotoperíodo.

## ABSTRACT

NASCIMENTO, Layana Alves do. **Consortium model with energy and food energy for the Araripe Gesseiro Pole.** 2023. 65 f. Dissertation (Master's) – University of Pernambuco, Petrolina, 2023.

Global projections indicate that the demand for fresh water, energy and food will increase significantly in the coming decades under the pressure of population growth, economic development, climate change, among others. Faced with this, technologies that promote sustainable development, through the use of clean energy, will be imperative for the Araripe Gesseiro Pole. Thus, this study aimed to evaluate the productive performance of biomass sorghum and cowpea cultivars in different cropping systems and planting times. The experiment was carried out at Campo Experimental da Caatinga, at Embrapa Semiárid, in Petrolina, PE. Four cowpea cultivars were used: BRS Itaim, BRS Gurguéia, BRS Guariba and BRS Carijó and two biomass sorghum cultivars: BRS 716 and AGRI002e in intercropping and monoculture systems. The cultivars were planted at two different times: June (season 1) and December (season 2) of 2021. Biometric and productive parameters of sorghum and cowpea were evaluated. Data were submitted to multivariate analysis. The productivity of biomass sorghum cultivars was not influenced by the production system, showing higher production with planting in December. The choice of planting time as a function of temperature and photoperiod is a determining factor for the growth and development of biomass sorghum. There was no significant difference in the productivity of cowpea cultivars for cropping systems and planting times. Through the efficient use of the UET land, the consortium revealed an advantage over monoculture for the combinations of the sorghum cultivar BRS 716 with the cowpea cultivars BRS Carijó, BRS Guariba and BRS Gurguéia, in planting in December.

**Keywords:** Sorghum bicolor L. Moench; Vigna unguiculata L; consortium system; planting time; photoperiod.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### Capítulo 1

#### Revisão de Literatura

<b>Figura 1</b> - Ciclo fenológico do feijão-caupi.....	23
---	----

### Capítulo 2

#### Desempenho Produtivo de Cultivares de Sorgo Biomassa E Feijão-Caupi em Diferentes Sistemas de Cultivo e Épocas de Plantio

<b>Figura 1</b> - Temperatura máxima ( $T_a$ (max) (°C)), Temperatura mínima ( $T_a$ (min) (°C)), Precipitação (Prec (mm)) e ciclo do sorgo biomassa e feijão-caupi (plantio à colheita) de duas épocas de plantio (época 1 e época 2) de junho a setembro de 2021 e de dezembro a maio de 2022.....	36
--	----

<b>Figura 2</b> - Variáveis do sorgo biomassa, AL: altura (cm); NF: número de folhas; DC: diâmetro do colmo (mm); CF: comprimento da folha (cm); LF: largura da folha (cm); MFF: massa fresca da folha ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); MSF: massa seca da folha ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); MFC: massa fresca do colmo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); MSC: massa seca do colmo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); MFP: massa fresca da panícula ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); MSP: massa seca da panícula ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); MFT: massa fresca total ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); MST: massa seca total ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), cultivado em sistema consorciado e monocultivo, em duas épocas de plantio (junho a setembro de 2021 e de dezembro de 2021 a maio de 2022).....	41
--	----

<b>Figura 3</b> - Dendrograma mostrando a hierarquia de grupos entre variáveis de sorgo (Agri-002E e BRS 716) cultivado em sistema consorciado e monocultivo, em duas épocas de plantio (junho a setembro de 2021 e de dezembro de 2021 a maio de 2022), resultante da análise de agrupamento por método hierárquico.....	42
---	----

<b>Figura 4</b> - Variáveis (A) e tratamentos (B), respectivamente. NTV: número total de vagens; CV: comprimento da vagem (cm); DV: diâmetro da vagem (mm); NGV: número de grãos por vagem; PV: peso da vagem ( $\text{kg há}^{-1}$ ); PG: peso dos grãos da vagem ( $\text{kg há}^{-1}$ ) de feijão-caupi (BRS Carijó, BRS Guariba, BRS Gurguéia e BRS Itaim) cultivadas em sistema consorciado e	
--	--

monocultivo, em duas épocas de plantio (junho a setembro de 2021 e de dezembro de 2021 a maio de 2022).....46

**Figura 5** - Dendrograma mostrando a hierarquia de grupos entre variáveis de feijão-caupi (BRS Carijó, BRS Guariba, BRS Gurguéia e BRS Itaim) cultivadas em sistema consorciado e monocultivo, em duas épocas de plantio (junho a setembro de 2021 e de dezembro de 2021 a maio de 2022), resultante da análise de agrupamento por método hierárquico.....47

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 1

#### Revisão de Literatura

<b>Tabela 1</b> - Características de diferentes cultivares de sorgo.....	20
<b>Tabela 2</b> – Características de diferentes cultivares de feijão-caupi.....	21
<b>Tabela 3</b> - Descrição do desenvolvimento fenológico de plantas de feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp).....	23

### Capítulo 2

#### Desempenho Produtivo de Cultivares de Sorgo Biomassa E Feijão-Caupi em Diferentes Sistemas de Cultivo e Épocas de Plantio

<b>Tabela 1</b> - Tratamentos utilizados no experimento.....	37
<b>Tabela 2</b> - Matriz de correlação linear de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre as variáveis biométricas e de produtividade avaliadas nas cultivares de sorgo Agri-002E e BRS 716, cultivadas em sistema consorciado e em monocultivo, em duas épocas de plantio (junho a setembro de 2021 e de dezembro de 2021 a maio de 2022).....	40
<b>Tabela 3</b> - Médias seguidas do desvio padrão dos agrupamentos formados na análise multivariada entre as variáveis das cultivares de sorgo biomassa, plantado em sistema de consórcio e monocultivo, em duas épocas de plantio (junho a setembro de 2021 e de dezembro de 2021 a maio de 2022), resultante da análise de agrupamento por método hierárquico.....	44
<b>Tabela 4</b> - Matriz de correlação linear de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre as variáveis de feijão-caupi (BRS Carijó, BRS Guariba, BRS Gurguéia e BRS Itaim) cultivadas em sistema consorciado e monocultivo, em duas épocas de plantio (junho a setembro de 2021 e de dezembro de 2021 a maio de 2022).....	45
<b>Tabela 5</b> - Médias seguidas do desvio padrão dos agrupamentos formados na análise multivariada entre as variáveis de feijão-caupi, plantado em sistema consorciado e monocultivo, em duas épocas de plantio (junho a setembro de 2021 e de dezembro de 2021 a	

maio de 2022), resultante da análise de agrupamento por método hierárquico.....49

**Tabela 6** - Uso eficiente da terra (UET) entre as cultivares de sorgo biomassa e feijão-caupi em sistema consorciado e monocultivo em duas épocas de plantio: época 1 época 2.....50

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS.....	12
2.1 Geral.....	12
2.2 Específicos.....	12
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	13
3.1 As mudanças climáticas e a agricultura.....	13
3.2 Consórcio como medida de adaptação às mudanças climáticas.....	14
3.3 Sistemas consorciados.....	15
3.4 Polo Gesseiro do Araripe.....	17
3.5 Sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L. Moench).....	18
3.5.1 Características morfológicas e fenológicas do sorgo.....	19
3.5.2 O sorgo biomassa como fonte energia.....	20
3.6 Feijão-caupi.....	21
3.6.1 Aspectos morfológicos e fenológicos do feijão-caupi.....	23
REFERÊNCIAS.....	25
2 Desempenho Produtivo de Cultivares de Sorgo Biomassa e Feijão-Caupi em Diferentes Sistemas de Cultivo e Épocas de Plantio.....	34
INTRODUÇÃO.....	35
MATERIAL E MÉTODOS.....	36
RESULTADOS.....	39
DISCUSSÃO.....	51
CONCLUSÃO.....	54
REFERÊNCIAS.....	54
ANEXO	

## 1 INTRODUÇÃO

O Polo Gesseiro do Araripe apresenta grande importância para produção de gesso no Brasil, sendo responsável pela produção de 97% do gesso consumido no país (BRASIL, 2018). A gipsita produzida na região é considerada de alta qualidade mundial, com elevado teor de pureza (80 a 95%) (BARBOSA *et al.*, 2014). Contudo, a matriz energética das fábricas envolvidas no processo de produção é a lenha proveniente da Caatinga que, na maioria das vezes, é resultante de desmatamento ilegal. Segundo Sindusgesso (2014), as indústrias apresentam demanda energética de 54.390 m<sup>3</sup> de lenha por mês. Este extrativismo, que alimenta as calcinadoras, é realizado tanto pelos produtores de gesso quanto por agricultores familiares da região, que buscam nesta atividade uma fonte de renda para garantir a sobrevivência da família e sua segurança alimentar (ANGELOTTI *et al.*, 2021).

Assim, a elevada pressão sobre a mata nativa (Caatinga) tem aumentado o processo de desmatamento e de desertificação, uma vez que, as condições edáficas e climáticas não favorecem uma rápida regeneração da vegetação (CAMPELLO, 2013), não tendo capacidade de suprir a demanda das empresas gesseiras (GRANJA *et al.*, 2017).

Desta maneira há a necessidade de novas soluções para a região, de maneira que, os sistemas de cultivo propostos apresentem abordagem múltipla e integrada voltada para a segurança energética e alimentar, com potencial para reduzir a vulnerabilidade dos sistemas rurais e contribuir para o desenvolvimento social, econômico e ambiental.

A utilização de consórcio entre sorgo biomassa (*Sorghum bicolor* L. Moench) e o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.), a partir de cultivares selecionada com tolerância às altas temperaturas, torna-se uma alternativa relevante para o Polo Gesseiro. Pois além de contribuir para a segurança alimentar dos agricultores, também terá influência na segurança energética, reduzindo assim, a extração de lenhas e, conseqüentemente, diminuindo a desertificação da Caatinga e os impactos das mudanças climáticas.

O consórcio de culturas se torna uma alternativa para região do Araripe, pois além de reduzir riscos de perdas, melhora o aproveitamento da propriedade, trazendo maior retorno econômico ao agricultor, além de ser viável para aumentar a oferta de alimentos (ANDRADE *et al.*, 2001). Segundo Azevedo *et al.* (2007), a prática agrícola de consórcio é muito utilizada nas regiões tropicais como estratégia para mitigar os efeitos da irregularidade do clima. Nos sistemas de consorciação é comum a associação de gramíneas com leguminosas pelo fato de apresentarem maior rendimento, melhorando a utilização da disponibilidade hídrica, nutrientes e luz, em relação aos cultivos isolados (DEVIDE *et al.*, 2009).

O sorgo biomassa apresenta-se como uma matéria-prima promissora devido ao seu alto rendimento energético por hectare e ciclo curto (6 meses), além de permitir mecanização do plantio à colheita, com capacidade de produzir grande quantidade de biomassa por hectare (PARRELLA, 2011). Já o feijão-caupi atua como cultura estratégica devido ao valor socioeconômico para o Nordeste, sendo um componente alimentar básico das populações, como fonte de proteínas, carboidratos, rico em fibras e minerais (FREIRE FILHO *et al.*, 2011). Além disso, pode ser utilizada também como forragem, feno, ensilagem, farinha para alimentação animal e, ainda, como adubação verde e proteção do solo (FREIRE FILHO *et al.*, 2011).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo desenvolver modelo de consórcio com eficácia produtiva e energética para o Polo Gesseiro do Araripe, com indicação de plantas que atendam a demanda alimentar e energética, visando a sustentabilidade do sistema de produção e a conservação e preservação da Caatinga.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Desenvolver modelo de consórcio com eficiência produtiva e energética que poderá ser aplicado no Polo Gesseiro do Araripe, visando a sustentabilidade ambiental e do sistema de produção.

### **2.2 Específicos**

- Avaliar o efeito da época de cultivo na produção de cultivares de feijão-caupi e sorgo biomassa.
- Validar a seleção de cultivares de feijão-caupi e sorgo biomassa tolerantes às altas temperaturas.
- Comparar a eficiência produtiva do feijão-caupi e do sorgo biomassa no sistema de monocultivo e consórcio.



### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 As mudanças climáticas e a agricultura

As mudanças climáticas estão evoluindo como um dos principais problemas ambientais enfrentados pelo mundo atualmente. A emissão de gases de efeito estufa (GEE), com aumento na concentração do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) são responsáveis por gerar mudanças no clima (RUGGIERI e CARDOSO, 2017). Essas mudanças produzirão oscilações, como aumento em nível do mar, mudanças nas frequências de chuva e aumento da temperatura do ar (SHAKOOR *et al.* 2011). Intensidades de secas, tempestades e inundações devem aumentar devido às mudanças nos padrões climáticos. Segundo O Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (IPCC, 2021), até o final do século poderá haver um aumento na temperatura média do planeta de 2,6 (cenário mais otimista) a 4,8 °C (cenário mais pessimista), reduzindo assim a disponibilidade hídrica. Esse aumento não será uniforme, ocorrendo variações interanuais e regionais (IPCC, 2013).

A agricultura é uma atividade que depende diretamente do clima e as alterações nesses elementos podem afetar negativamente, tanto aspectos a níveis sociais, quanto econômicos (LIMA, 2001). Ao mesmo tempo em que os impactos das mudanças climáticas podem se constituir numa séria ameaça para a agricultura, por colocar em risco a preservação dos sistemas agrícolas atuais, podem também se tornar uma oportunidade para o desenvolvimento de outros sistemas.

Para as plantas, as mudanças climáticas podem acentuar a frequência e a intensidade dos estresses causados pela alta temperatura, menor disponibilidade de água, patógenos, plantas invasoras, poluição do ar, eventos extremos, alagamentos e incêndios. Uma vez que, alterações na temperatura podem modificar a distribuição geográfica das espécies, o ciclo de vida das pragas, bem como a expansão de problemas fitossanitários dos trópicos para as regiões temperadas (BEBBER *et al.*, 2013).

Além disso, as alterações no clima influenciam a produtividade agrícola e podem afetar o desenvolvimento e o crescimento das plantas em diversas fases do ciclo das culturas (ALVES *et al.*, 2010), causando risco à segurança alimentar. De acordo com Hatfield *et al.* (2011), a alta temperatura e a diminuição da precipitação podem causar incremento dos estresses hídrico e nutricional nas plantas nativas e cultivadas, com sérios efeitos sobre seu crescimento e produtividade, uma vez que exercem influência direta sobre as culturas, desde a germinação das sementes até a produção final. Uma das causas deste efeito está relacionada

com os processos fisiológicos (SINSAWAT *et al.*, 2004; FLEXAS *et al.*, 2004) com redução da fotossíntese, fonte primária dos carboidratos utilizados no crescimento e na manutenção da planta (RIBEIRO e MACHADO, 2007).

Para o Nordeste brasileiro, os cenários futuros apontam aumento na estiagem, acarretando maior aridez na região semiárida até final do Século XXI (MARENGO *et al.*, 2011). Por ser uma das regiões mais vulneráveis às mudanças climáticas, os impactos decorrentes do aumento de temperatura e as anomalias na precipitação afetarão a produção agrícola, os recursos hídricos, a demanda de irrigação, a biodiversidade, a modificação do bioma Caatinga e a aceleração do processo de desertificação (ANGELOTTI *et al.*, 2009).

Apesar dos avanços tecnológicos existentes, ainda há muitos impactos negativos do clima sobre a produtividade, sendo bastante complexa a relação entre os elementos climáticos e a produção agrícola (SENTELHAS e MONTEIRO, 2009), havendo a necessidade de estudos que busquem minimizar os impactos das alterações climáticas sobre a agricultura.

### **3.2 Consórcio como medida de adaptação às mudanças climáticas**

Os impactos das mudanças climáticas estão se acelerando rapidamente. O relatório do IPCC (IPCC, 2021) aponta que as emissões de GEE e o aumento da temperatura estão muito acima das estimativas do relatório do IPCC de 2007, evidenciando o quanto é urgente e necessário reduzir a emissão desses gases, uma vez que estão acima da capacidade de absorção da Terra.

Algumas das mudanças causadas pela emissão dos GEE são irreversíveis, no entanto, algumas mudanças podem ser retardadas e outras podem ser interrompidas se limitarmos as emissões desses gases (IPCC AR6, 2021). Como consequência, é importante reconhecermos a necessidade de fortes ações de mitigação de emissões e de adaptação (WEF, 2020). As medidas de mitigação incluem estratégias para redução das fontes de emissões de GEE, que podem ser de curto e de longo prazo, e o aumento de sumidouros desses gases. Em síntese, é muito mais barato mitigar as emissões do que arcar com os impactos das mudanças climáticas (IPCC AR6, 2021).

Neste sentido é extremamente necessária a implantação efetiva da agricultura de baixo carbono, entre outras formas mais eficientes e limpas de energia, bem como otimização de terras com os sistemas de produção integrados (BALBINO, CORDEIRO e MARTÍNEZ, 2011). Dessa forma, a agricultura tem enorme potencial para contribuir com a

sustentabilidade ambiental, desde que organizada de forma a minimizar os impactos das mudanças climáticas.

De acordo com Artaxo (2020), é possível construir um sistema integrado incorporando a biodiversidade como componente central ao processo de desenvolvimento, aumentando a capacidade adaptativa dos sistemas naturais e humanos.

A adaptação às mudanças climáticas refere-se a ajustes em sistemas naturais ou humanos frente a estímulos climáticos, atuais ou esperados, e seus efeitos. De forma que a adaptação com base no ecossistema abrange uma ampla gama de estratégias, desde a proteção, restauração e manejo sustentável dos ecossistemas até práticas agrícolas mais sustentáveis (IPCC, 2021). Essas medidas podem reduzir os riscos climáticos que muitas regiões já enfrentam, incluindo secas, calor extremo, inundações e incêndios e ao mesmo tempo em que oferece co-benefícios para a biodiversidade, meios de subsistência, saúde, segurança alimentar e sequestro de carbono (IPCC, 2021).

Na agricultura, mudanças no manejo dos sistemas produtivos, rotação de culturas e consórcios se destacam como medidas de adaptação (ANGELOTTI e GIONGO, 2019). Os sistemas de cultivo consorciados apresentam como vantagem o aproveitamento dos organismos benéficos presentes nos ecossistemas, com favorecimento de populações de inimigos naturais e diminuição no número de pragas (ZHANG *et al.*, 2004). Além disso, os consórcios permitem maior proteção do solo pela cobertura vegetal (LIJIMA *et al.*, 2004).

### **3.3 Sistemas consorciados**

O plantio consorciado é uma prática na qual duas ou mais culturas são plantadas em conjunto na mesma área, no mesmo período, de forma que elas convivam durante toda ou parte do ciclo. Essa forma de exploração garante maior estabilidade à produção, reduzindo os riscos de perdas agrícolas, decorrentes das incertezas climáticas (MESQUITA *et al.*, 2017).

O cultivo consorciado tende a promover um melhor equilíbrio biológico e ambiental. Isto se dá porque este tipo de plantio propicia o aumento da proteção vegetativa do solo contra a erosão, contribui para o aproveitamento de nutrientes, água e CO<sub>2</sub>, além de auxiliar no controle das plantas daninhas e na redução da incidência de pragas e doenças (DEVIDE *et al.*, 2009; ALBUQUERQUE *et al.*, 2012).

Na implantação de sistemas consorciados alguns aspectos básicos devem ser considerados, como a escolha das espécies, o melhor arranjo de plantio e a definição da

população de plantas. Estes pontos são fundamentais para que o sistema de consórcio atinja níveis tecnológicos desejados, garantindo bons rendimentos (FILHO *et al.*, 2016).

Dentre as opções utilizadas em sistemas de consórcio, destaca-se a consorciação entre espécies gramíneas e leguminosas. As gramíneas são plantas que apresentam o metabolismo C4, sendo mais eficientes do ponto de vista fotossintético, o que lhes confere maior taxa de crescimento. Apesar das leguminosas, com metabolismo do tipo C3, mostrarem-se menos eficientes na fixação do CO<sub>2</sub>, destacam-se nas associações simbióticas com bactérias fixadoras de nitrogênio, resultando no aporte de quantidades expressivas deste nutriente ao sistema solo-planta (PERIN *et al.*, 2003).

Segundo Bezerra *et al.* (2007), o sistema consorciado é muito utilizado entre os agricultores das regiões tropicais do mundo, mantendo-se ao longo dos anos devido, principalmente, à sua adaptação ecológica que se contrasta com alguns sistemas agrícolas modernos.

Uma forma de avaliação da eficiência agrônômica dos consórcios em relação aos monocultivos é o índice de uso eficiente da terra (UET), proposto por Mead e Willey (1980). Este índice considera o rendimento das culturas no consórcio e nos monocultivos e as relaciona com a equivalência de uso da terra. Quando o valor de UET é igual a 1, indica que não houve efeito (nem positivo, nem negativo) do consórcio em relação ao aproveitamento efetivo do uso da terra. Valores de UET maiores do que 1, indicam que o consórcio resultou em maior rendimento por área, e que os cultivos solteiros necessitariam de maior área para equivaler o mesmo rendimento do consórcio (OLIVEIRA, 2019).

A exemplo, os trabalhos com consórcio de diferentes culturas, como o consórcio de feijão-comum + mamona (TEIXEIRA *et al.* 2011), milho-pipoca e feijão (NETO *et al.*, 2012), mandioca e feijão (ALBUQUERQUE *et al.*, 2012), sorgo sacarino e feijão-caupi (SANTOS *et al.*, 2017), obtiveram o UET maiores que 1, ou seja, os sistemas consorciados proporcionaram a melhor eficiência no uso da terra.

Outro exemplo é o de Carvalho *et al.* (2016), que ao avaliarem a viabilidade econômica do consórcio entre genótipos de milho com feijão, concluíram que, seja na finalidade de produzir espigas verdes ou milho em grãos, o sistema se mostrou como alternativa de maior viabilidade econômica e segurança financeira para os produtores.

### 3.4 Polo Gesseiro do Araripe

O Arranjo Produtivo Local (APL) do gesso, denominado Polo Gesseiro do Araripe, é composto pelos municípios de Araripina, Bodocó, Cedro, Dormentes, Exu, Granito, Ipubi, Moreilândia, Ouricuri, Parnamirim, Santa Cruz, Santa Filomena, Serrita, Terra Nova e Trindade (BRASIL, 2018).

O polo Gesseiro do Araripe tem grande importância econômica para o país e principalmente para a região. Devido ao seu alto teor de pureza, o gesso extraído nessa região é considerado o de melhor qualidade do mundo, com a pureza do minério variando entre 88% e 98% (BARBOSA *et al.*, 2014). Segundo o Sindusgesso (2014), são gerados 13,9 mil empregos diretos e 69 mil indiretos, resultantes da atuação de 42 minas de gipsita, 174 indústrias de calcinação e cerca de 750 indústrias de pré-moldados, que geram faturamento de R\$ 1,4 bilhão/ano. Este panorama tende a se ampliar, tomando como base o grande estoque de gipsita, cujo tempo restante previsto de exploração é de aproximadamente 600 anos.

Entretanto, a matriz energética das fábricas envolvidas no processo de produção do gesso da região do Araripe é a lenha da mata nativa (Caatinga), que na maioria das vezes, é resultante de desmatamento ilegal. A demanda energética anual é da ordem de 579.048,75 estereos (st), que resulta na exploração anual de 3.860 hectares de floresta nativa (SECTMA, 2007).

A indústria gesseira consome, em média, 54.390 m<sup>3</sup> de lenha por mês no parque industrial do Araripe. Considerando que a produção média das áreas exploradas sob Plano de Manejo Florestal Sustentável da Caatinga é de 46,5 m<sup>3</sup>/ha, após 15 anos de rotação, estima-se que, para atender a esta demanda, necessita-se de 14.036 ha/ano explorados com planos de manejo sustentado da vegetação. Isto implica em uma área total de 219.541,94 ha de vegetação nativa em regime de manejo (GADELHA, 2014).

Assim, devido à grande demanda de lenha exigida na calcinação da gipsita, o Polo Gesseiro do Araripe se encontra sob severa ação antrópica que, conseqüentemente, vem gerando alterações nas estruturas físicas e biológicas do ambiente. Em consequência, na medida em que a indústria do gesso cresce, utilizando a lenha como principal fonte energética para a calcinação, aumenta a devastação do estoque de lenha da região. Esse cenário coloca o Araripe, como área susceptível à desertificação com conseqüências desastrosas nos aspectos sociais, ambientais e econômicos (BARROS e ARAUJO, 2016).

Desta maneira, estratégias de contenção da devastação florestal e opção de uma nova matriz energética para ser utilizada nos fornos de calcinação, são importantes para a sustentabilidade da região (SEBRAE-PE, 2020).

### **3.5 Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench)**

O sorgo (*S. bicolor*) é uma gramínea originária da África Oriental, pertencente à família Poaceae (CABRAL *et al.*, 2013). Adaptado a regiões de clima tropical, o sorgo chegou no Brasil por volta de 1.600 junto com os escravos. Comercialmente a cultura se expandiu no país a partir de 1960 sendo cultivado para produção de grão e silagem (RIBAS, 2003).

É considerado o quinto cereal mais plantado no mundo, podendo ser utilizado tanto na alimentação humana como animal (para volumosos ou na composição de rações) (MAGALHÃES *et al.*, 2003). Na América do Sul, nos Estados Unidos e na Austrália é utilizado basicamente na alimentação animal, já na América Central, na Ásia e na África, seus grãos são usados também na alimentação humana para produção de farinha, amido industrial, pães e biscoitos (MAGALHÃES *et al.*, 2003).

Nos últimos anos a produção e o consumo do sorgo se mantiveram em torno de 60 milhões de toneladas de grãos. Tendo como maiores produtores os Estados Unidos, Nigéria e Etiópia, ocupando a nona posição o Brasil (EICHOLZ, 2020). A produção brasileira de sorgo está ao redor de dois milhões de toneladas, destacando-se a região Centro-Oeste, que participa com mais da metade da produção nacional, seguida pela região Sudeste e Nordeste (CONAB, 2021).

De acordo com a Conab (2023) a previsão para safra 2022/23 será de 3,7 milhões de toneladas, o que corresponde a um aumento de 26,2% em relação à safra anterior, em uma área de 1.225,3 mil hectares.

A cultura do sorgo é considerada de baixo custo de implantação com capacidade de mecanização, o que facilita a colheita e a logística do produto. Agronomicamente os tipos de sorgos podem ser classificados em cinco grupos distintos, sendo: o sorgo granífero (utilizado para produção de grãos), sorgo forrageiro (para a produção de massa para ensilagem), sorgo sacarino (produção de etanol de primeira geração), sorgo vassoura (para a produção de vassouras) e o sorgo biomassa (utilizado na produção de biomassa lignocelulósica) (MAY *et al.*, 2014). Além destes, ocorrem as combinações de exploração da planta quanto a natureza,

os chamados de duplo propósito ou dupla finalidade, como é o caso do sorgo sacarino e o sorgo biomassa, que podem ser, dependendo do caso, utilizado como sorgo forrageiro (TABOSA, 2020).

### **3.5.1 Características morfológicas e fenológicas do sorgo**

O sorgo é uma planta monoica, autógama, de metabolismo (C4), o que lhe confere o poder de produzir altas taxas fotossintéticas. Muitos de seus genótipos são sensíveis ao fotoperíodo, florescendo apenas em dias curtos (CARRILLO e PINEDA *et al.*, 2014). A temperatura ótima para o desenvolvimento oscila entre 16 e 38 °C, embora a maioria das cultivares necessitem de temperaturas superiores a 21 °C para um bom desenvolvimento (FERNANDES, 2013). É cultivado principalmente em locais onde a precipitação anual ocorre entre 375 e 625 mm (RIBAS, 2003) e caracteriza-se por ser uma cultura com menor demanda hídrica, quando comparado ao milho, cerca de 300 L kg<sup>-1</sup> de matéria seca, exigindo maior quantidade de água durante o florescimento (CASTRO, 2014).

Além de possuir mecanismo fotossintético característico das plantas C4, como produção de grande quantidade de matéria seca, mesmo em condições de estresse hídrico e térmico moderado (LARCHER, 2006), a planta do sorgo apresenta outros mecanismos eficientes de tolerância à seca, possuindo diversas variedades adaptadas a diferentes zonas climáticas. Entre estes mecanismos destaca-se o sistema radicular profundo e ramificado, com raízes que contém sílica na endoderme, grande quantidade de pelos absorventes e altos índices de lignificação de periciclo (DINIZ, 2010). Além disso, o sorgo apresenta um mecanismo que permite a planta desacelerar seu metabolismo fisiológico, durante o período com déficit hídrico, murchando e enrolando-se a folha e recuperando-se de forma rápida quando o estresse é interrompido (MAGALHÃES *et al.*, 2015). As folhas também possuem depósito de substância cerosa na junção da bainha com o limbo, que reduz a perda de água na transpiração, sobretudo em condições de estresse hídrico.

O caule do sorgo é do tipo colmo, dividido em nós, entrenós e folhas ao longo de toda a planta. Sua inflorescência é uma panícula e o fruto é uma cariopse ou grão seco, possuindo espécies anuais e espécies vivazes (MAGALHÃES *et al.*, 2003).

O sorgo é uma planta com alta capacidade de rebrota, devido a capacidade de conservar ativo seu sistema radicular. Alguns autores observaram altas taxas de rebrota (cerca de 90%) em híbridos avaliados para corte (REZENDE *et al.*, 2011).

Caracterizada por ser cultura de ciclo fenológico curto (de 90 a 120 dias) as plantas alcançam a maturação fisiológica em um período de aproximadamente quatro meses, apresentando três estádios de crescimento (EC). O primeiro estádio (EC1) é caracterizado pela emergência da planta até o início da formação da panícula, o segundo (EC2), compreende o início da panícula até o florescimento, e a última fase (EC3), inicia na floração e termina na maturação fisiológica dos grãos (MAGALHÃES, DURÃES, e RODRIGUES, 2009).

### **3.5.2 O sorgo biomassa como fonte energia**

O sorgo biomassa apresenta como característica principal a alta produção de biomassa, podendo produzir mais de 50 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca em um ciclo de seis meses. Isso ocorre em decorrência da sensibilidade da planta ao fotoperíodo, florescendo apenas quando os dias possuem menos de 12 horas e 20 minutos (PARRELA *et al.*, 2010). Dessa forma, quando o sorgo semeado nos meses de outubro a dezembro, época em que o fotoperíodo é maior que 12 horas e 20 minutos, iniciará o desenvolvimento da gema floral a partir de março do ano seguinte, ampliando o ciclo vegetativo, e, simultaneamente, possibilitando maior produção de biomassa por hectare/ciclo, em comparação a cultivares insensíveis ao fotoperíodo (PARRELLA *et al.*, 2014).

A planta do sorgo biomassa possui colmos grossos e fibrosos, porte entre cinco e seis metros de altura, resistência ao acamamento, podendo ser cultivada em diferentes regiões do Brasil. Além disso, contém alto teor de fibra (entre 22 a 28%) e o baixo teor de umidade (em torno de 50%), o que favorece a sua alta capacidade de fornecer energia, tendo seu valor acima de 4.000 Kcal/kg (EMBRAPA, 2014).

O poder calorífico do sorgo biomassa é similar ao da cana, do eucalipto e do capim elefante. Seu material pode ser utilizado na combustão direta para a produção de energia térmica (vapor) e elétrica (cogeração); hidrólise química ou enzimática da fibra (celulose e hemicelulose) para obtenção de açúcares fermentáveis e conseguinte produção de combustíveis líquidos como o etanol de segunda geração; gaseificação para produção de gás de síntese (monóxido de carbono e hidrogênio) ou geração de biogás; pirólise para produção de bio-óleo ou carvão (NAIK *et al.*, 2017).

Diversos estudos com o sorgo biomassa estão sendo desenvolvidos e demonstram a viabilidade do mesmo para uso como fonte energética, de maneira que novas cultivares estão sendo lançadas, como a BRS 716 que foi registrada em 2014, apresentando potencial



produtivo e energético, sendo utilizada na combustão direta (MAY *et al.*, 2013; MAY *et al.*, 2015; OLIVEIRA *et al.*; 2009).

**Tabela 1.** Características de diferentes cultivares de sorgo.

Cultivares	Características	Produtividade	Porte	Ciclo (dias)
Agri-002E	Duplo aptidão (Silagem e cogeração de energia)	Produtividade média de 80 a 120 toneladas de matéria fresca por hectare	4 a 5 metros	4 a 6 meses
BRS 716	Duplo aptidão (Silagem e cogeração de energia)	Produtividade média de 120 a 150 toneladas de matéria fresca por hectare	5 a 6 metros	4 a 6 meses

Fonte: Leite (2021) e Freitas *et al.* (2020).

### 3.6 Feijão-caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) também conhecido por feijão-macassar ou feijão-de-corda, é uma dicotiledônea pertencente à família Fabaceae. De origem africana, foi introduzido no Brasil na segunda metade do século XVI pelos colonizadores portugueses no Estado da Bahia (FREIRE FILHO *et al.*, 2011).

Esta cultura possui grande importância socioeconômica para o Brasil, além de ser um dos principais componentes da dieta alimentar de grande parte da população mundial, contribuindo de maneira significativa para a geração de emprego e renda (LIMA *et al.*, 2007).

Seus grãos apresentam altos teores de proteínas (23-25% em média), contém todos os aminoácidos essenciais, carboidratos (62%, em média), vitaminas, minerais, além de possuir grande quantidade de fibras alimentares e baixa porcentagem de gordura (teor de óleo de 2%, em média). Além de ser utilizado para o consumo humano, o feijão-caupi também é utilizado como forragem verde, feno, ensilagem, farinha para alimentação animal, adubação verde e proteção do solo (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Os maiores produtores de feijão-caupi são a Nigéria e o Niger, responsáveis por 69% do total mundial (DERAL, 2020). O Brasil ocupa a terceira posição e de acordo com os dados da Companhia Nacional do Abastecimento - CONAB (2021), a área plantada na safra 2020/2021 foi de 1.349,7 mil hectares, com produção de 624,8 mil toneladas. O cultivo é

realizado, sobretudo nas regiões Norte e Nordeste (443,5 mil toneladas), destacando-se, os Estados do Ceará (110,8 mil t), Bahia (82,5 mil t), Tocantins (64,7 mil t), Piauí (59,4 mil t) e Pernambuco (32,1 mil t).

Apesar do Nordeste se destacar na produção de feijão-caupi, a produtividade ainda é baixa. Isso está atrelado às práticas tradicionais de cultivo, com baixo uso de tecnologias (BASTOS, 2017), às condições climáticas (SABOYA *et al.*, 2013), e à ausência de cultivares tolerantes às condições locais e época de cultivo inadequada (BARROS *et al.*, 2021).

De acordo com Rocha *et al.* (2017), a escolha da cultivar é uma etapa importante para o agricultor obter sucesso na produtividade, uma vez que o resultado final é obtido por meio do potencial genético da cultivar, expresso pelas condições edafoclimáticas da região de cultivo e pela adoção do manejo recomendado. Neste sentido, a Embrapa por meio de programas de melhoramento genético, lançou nos últimos quinze anos cultivares de feijão-caupi com o potencial de adaptação a diferentes regiões do País. As principais características destes materiais são ciclo curto e cultivo totalmente mecanizado (Tabela 1).

**Tabela 2.** Características de diferentes cultivares de feijão-caupi.

<b>Cultivares</b>	<b>Características</b>	<b>Hábito de crescimento</b>	<b>Porte</b>	<b>Dias do plantio à floração</b>	<b>Ciclo total (dias)</b>
BRS Carijó	Cultivar do grupo fraldinha, recomendada para áreas irrigadas e de sequeiros.	Semi-determinado	Ereto	Em média com 36 dias	60-65
BRS Guariba	Recomendada para o cultivo em sequeiro, apresenta resistência ao acamamento, facilitando a colheita mecânica	Indeterminado	Ereto	Em média com 41 dias	65-70
BRS Gurguéia	Recomendada para áreas irrigadas e de sequeiros	Indeterminado	Enramador	Em média com 43 dias	75

	Grãos fradinhos, bem			em média	
BRS Itaim	formados e com excelente apelo visual recomendada para áreas irrigadas e de sequeiros	Determinado	Ereto	com 35 dias	60-65

Fonte: Santos (2011), Freire Filho *et al.* (1998, 2009), Altevir *et al.* (2008).

### 3.6.1 Aspectos morfológicos e fenológicos do feijão-caupi

O feijão-caupi é uma espécie autógama, herbácea e anual (SINGH *et al.*, 2002). O sistema radicular é do tipo axial, relativamente superficial, embora algumas raízes possam atingir a profundidade de 2,0 m, característica que a torna uma espécie com capacidade de manter-se por longos períodos sem irrigação (MAGAHÃES *et al.*, 2003).

A raiz principal e as secundárias apresentam nódulos eficientes na fixação biológica de nitrogênio (FBN), devido à associação com diversas bactérias do grupo rizóbio, incluídos gêneros como *Azorhizobium*, *Burkholderia*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Rhizobium*, *Sinorhizobium*, característica que permite a planta obter o nitrogênio diretamente do ar. O nitrogênio (N) é o macronutriente absorvido em maior quantidade pelo feijão-caupi, quantidade superior a 100 kg ha<sup>-1</sup> (MARTINS *et al.*, 2013).

As folhas do feijão-caupi são do tipo composta e contém três folíolos presos a uma haste (pecíolo). A folha verdadeira é constituída por dois folíolos laterais assimétricos (opostos) e um folíolo terminal simétrico que apresenta pecíolo mais longo que os folíolos laterais (VALE *et al.*, 2017). O padrão dos ramos define o porte da planta, sendo classificado em quatro tipos principais: ereto, semiereto, semiprostrado e prostrado (VALE *et al.*, 2017).

Os frutos são do tipo vagem que variam em cor, forma, comprimento e número de sementes. As sementes exibem grande diversidade de cores e formas, sendo constituídas pelo embrião e tegumento, essas quando germinadas, o embrião origina uma planta rudimentar semelhante a planta que a produziu (VALE *et al.*, 2017).

O feijão-caupi se desenvolve em uma ampla faixa de temperatura, entre 18 e 37 °C, sendo que faixa ideal de temperatura para a germinação da cultura é de 23 a 32,5 °C (SANTOS, 2011). Temperaturas inferiores a 18 °C prolongam o ciclo e favorecem o ataque de viroses (OLIVEIRA *et al.*, 2017). Temperaturas ao redor de 35 °C, provocam o abortamento de flores, diminuindo o rendimento final de sementes (KUMAR *et al.*, 2016). A

quantidade de água necessária para o desenvolvimento da cultura varia de 300 a 450 mm, que deve ser adequadamente distribuído para atender aos requisitos de cada estágio fenológico (FREIRE FILHO *et al.*, 2011).

Apesar do feijão-caupi se desenvolver em uma ampla faixa de temperatura e pouca disponibilidade hídrica, a intensidade e duração desses fatores abióticos afetam o crescimento e desenvolvimento nos diferentes estágios fenológicos da planta (BASTOS *et al.*, 2017; VALE *et al.*, 2017; SEHGAL *et al.*, 2018).

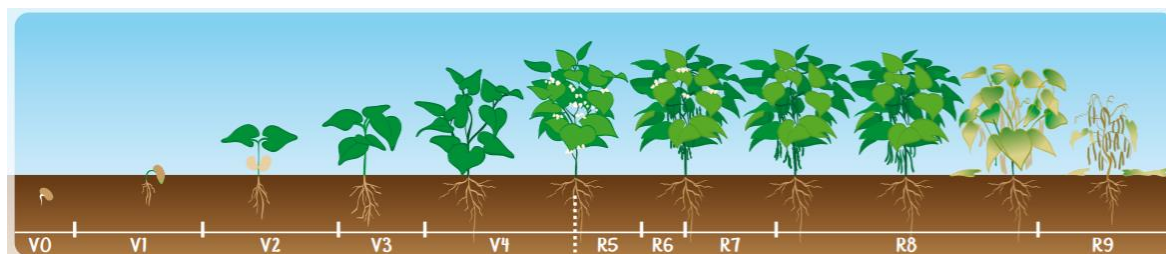
A cultura apresenta seu ciclo fenológico dividido em duas fases: fase vegetativa (V) e fase reprodutiva (R) (OLIVEIRA *et al.*, 2018) (Tabela 3) e (Figura 1). Cada fase tem um tempo de duração diferente, que dependerá da cultivar, uma vez que cada genótipo apresenta um ciclo de crescimento distinto (FREIRE FILHO *et al.*, 2011).

**Tabela 3:** Descrição do desenvolvimento fenológico de plantas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp).

V0	Germinação	
V1	Emergência	
V2	Folhas primárias	Fase Vegetativa
V3	Primeira folha composta aberta	
V4	Terceira folha trifoliada aberta	
R5	Pré-floração	
R6	Floração	
R7	Formação de vagens	Fase Reprodutiva
R8	Enchimento das vagens	
R9	Maturação	

Fonte: Oliveira *et al.* (2018).

**Figura 1:** Ciclo fenológico do feijão-caupi.



Fonte: Oliveira *et al.* (2018).

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. J. B.; MORAIS, A. R.; TEIXEIRA, I. R.; SILVA, M. V. Avaliação de sistemas de consórcio de feijão com milho pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, v.25, n.2, p.242-250, 2001.

ANDRÉ, V. L. S. **Desempenho agrônomo de genótipos de sorgo biomassa cultivados em distintas regiões do estado de Mato Grosso**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Mato grosso. Programa de Pós Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, 41p, 2021.

ALBUQUERQUE, J. A. A.; SEDIYAMA, T.; ALVES, J. M. A.; SILVA, A. A.; UCHOA, S. C. P. Cultivo de mandioca e feijão em sistemas consorciados realizado em Coimbra, Minas Gerais, Brasil. **Revista Ciência Agrônoma**, v.43, p.532-538, 2012.

ALVES, F. Q. G.; SILVA, F. C.; COSTA, I. J. S.; DAVID, A. M. S. S.; SIMÕES, D. A. **Qualidade fisiológica de híbridos de milho submetidos a diferentes temperaturas**. Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010.

ALTEVIR, M. L.; MANOEL, S. C.; FRANCISCO, R. F. F.; MAURISRAEL, M. R. **BRS GUARIBA Cultivar de feijão-caupi recomendada para o estado do Pará**. Embrapa Meio-Norte, 2008.

ANGELOTTI, F.; GIONGO, V. Ações de mitigação e adaptação frente às mudanças climáticas. IN: MELO, R. F de.; VOLTOLINI, T. V. (Org.). **Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido**. Petrolina-PE: Embrapa Semiárido, p. 445-467, 2019.

ANGELOTTI, F.; OLIVEIRA, A.R de.; GIONGO, V.; BARROS, J. R. A.; GUIMARÃES, M. J. M. Agricultura sustentável como medida de adaptação para o Polo Gesseiro do Araripe. IN: SABOURIN, E.; OLIVEIRA, L. M. R.; GOULET, F.; MARTINS, E. S. **A ação pública de adaptação da agricultura à mudança climática no nordeste semiárido brasileiro**. Rio de Janeiro, 1. ed, 282p, 2021.

ANGELOTTI, F.; SÁ BEZERRA, I.; MENEZES, E. A.; PELLEGRINO, G. Q. **Mudanças Climáticas e Desertificação no Semi-Árido Brasileiro**. Embrapa Semi-Árido/Embrapa Informática Agropecuária. – Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido; Embrapa Campinas, SP: Embrapa Informática Agropecuária, 295 p, 2009.

ARTAXO, PAULO. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, v. 34, n. 100, p. 53-66, 2020.

AZEVEDO, E. B., NÖMBERG, J. L., MENEGAZ, A. L., SILVA, S. P., COSTA, L. P. D., CHIELLE, Z. G. Avaliação bromatológica dos componentes da planta de híbridos de sorgo e milho cultivados na Depressão Central-RS. In: **Reunião Anual da Sociedade**, 2007.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; MARTÍNEZ, B. G. Contribuições dos sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) para uma agricultura de baixa emissão de carbono. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 6, p. 1163-1175, 2011.

BARBOSA, A. A.; FERRAZ, A. V.; SANTOS, G. A. Caracterização química, mecânica e morfológica do gesso obtido do pólo do Araripe. **Cerâmica**, v. 60, n. 356, p.501-508, 2014.

BARROS, G. L. X.; ARAÚJO, B. G. B. **Diagnóstico preliminar da matriz energética utilizada em calcinadoras de gipsita nos municípios de ipubi e trindade – pe**. Anais I CONIDIS. Campina Grande: Realize Editora, 2016. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/23706>>. Acesso em: 21 de nov. 2021.

BARROS, J. R. A. **Feijão-caupi: Parâmetros produtivos, biométricos, fisiológicos, bioquímicos e prospecção de genes, frente ao aumento da temperatura e do deficit hídrico**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Feira de Santana. Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, 200p, 2021.

BASTOS, E. A. (Ed.). **Cultivo de feijão-caupi**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. Versão eletrônica.

BEBBER, D.P., RAMOTOWSKI, M.A.T., GURR S. J. Crop pests and pathogens move poleward in a warming world. **Nature Climate Change**, 985-988, 2013.

BEZERRA, A. P. A. et al. Rendimento, componentes da produção e uso eficiente da terra nos consórcios sorgo x feijão-de-corda e sorgo x milho. **Ciência Agrônômica**, v. 38, n. 1, p. 104-108, 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Anuário estatístico do setor de transformação de não metálicos**: 2018. Brasília: Ministério de Minas e Energia – Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Departamento de Transformação e Tecnologia Mineral, p. 86, 2018.

BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40. Santa Maria, 2003. Anais. CD-ROM. Forragicultura.

CABRAL, P. H. R.; JAKELAITIS, A.; CARDOSO, I. S.; ARAÚJO, V. T.; PEDRINI, E. C. F. Interferência de plantas daninhas na cultura do sorgo cultivado em safrinha. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 3, p. 308-314, 2013.

CAMPELLO, F. C. B. O consumo específico de lenha como índice técnico para o ordenamento florestal no Araripe em Pernambuco. **Revista dos Mestrados Profissionais**, v. 2, n. 1, p. 23–43, 2013.

CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q.; F. B.; BASTOS, C. E. A.; SOBRINHO, C. A. **Rendimento de Grãos de Duas Linhagens Elites de Feijão-Caupi em Relação ao Arranjo de Plantas em Teresina, Piauí**. Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI, 2021.

CARDOSO, M. J.; MELO, F. de B.; RIBEIRO, V. Q. Population density on cowpea cultivars with different growth habits in the matopiba region. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 235 – 239, 2018.

CARRILLO, M. A.; PINEDA, J. A. Washing sorghum biomass with water to improve its quality for combustion. **Fuel**, v. 116, p. 427-431, 2014.

CARVALHO, F.I.F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária - UFPel, 141 p, 2004.

CARVALHO, I. de.; PAULO, V. F.; A. B. S.; JÚNIOR. J. S.; T. F. S.; OLIVEIRA. A. P. V.; CARVALHO. P. R. S. Análise produtiva de genótipos de milho verde consorciados com feijão. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 593-599, 2016.

CASQUERO, P. A. ET AL. Performance of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces from Spain in the Atlantic and Mediterranean environments. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 53, n. 05, p. 1021-1032, 2006.

CASTRO, F. M. R. **Potencial Agrônômico e energético de híbridos de sorgo Biomassa**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Lavras, 80f, 2014.

CAVALCANTI, F. J. A. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco**. Recife: IPA, 212 p, 2008.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Safra 2020/21**, Brasília, v8. n11. p. 1-108, 2021.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Safra 2022/23**, Brasília, 7º levantamento, 2023.

DELGADO, I. D. **Adaptabilidade e Estabilidade de Híbridos de Sorgo Biomassa**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, 60 p, 2017.

DERAL. Departamento de Economia Rural. Disponível em: [http://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-08/boletim\\_semanal\\_14\\_deral\\_07\\_agosto\\_2020f\\_0.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2020-08/boletim_semanal_14_deral_07_agosto_2020f_0.pdf). Acesso em 12 de abril de 2021.

DEVIDE, A. C. P.; RIBEIRO, R. L. D.; VALLE, T. L.; ALMEIDA, D. L.; CASTRO, C. M.; FELTRAN, J. C. Produtividade de raízes de mandioca consorciada com milho e caupi em sistema orgânico. **Bragantia**, v. 68, n. 01, p. 145-153, 2009.

DIAS, S.C.; LIMA, J.B.M.P.; NOLASCO, G. M.; SOUSA, V. P.; SOUSA, M. P.; RODRIGUES, C. S. **Índice de eficiência do uso da terra no consórcio sorgo, feijão Guandu e Capim Massai e Paiaguás no Nordeste de Minas Gerais**. X SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA e II SEMINÁRIO DA PÓS-GRADUAÇÃO DO IFNMG, 2022. Disponível em <file:///C:/Users/layan/Downloads/c77778feebfe58277cd6409e6a5cd11d9ea30fa8%20(1).pdf >. Acesso em: 21 nov. 2022.

DIAS, KAIO OLÍMPIO, G. Improving accuracies of genomic predictions for drought tolerance in maize by joint modeling of additive and dominance effects in multi-environment trials. **Heredity**, v. 121, n. 1, p. 24-37, 2018.

DINIZ, G. M. M. **Produção de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench): aspectos gerais**. Dissertação (Mestrado em Melhoramentos Genético de Plantas) – Recife – PE, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife – UFRPE, 97 p, 2010.

EICHOLZ, E. D.; BREDEMEIER, C.; PEREIRA, F. B.; MACHADO, J. R. A.; GARRAFA, M.; BISPO, N. B.; AIRES, R. F. **Informações técnicas para o cultivo do milho e sorgo na região subtropical do Brasil: Safras 2019/20 E 2020/21**. Sete Lagoas, MG: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 220 p, 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 353 p, 2013.

EMBRAPA. **O Sorgo na Alimentação Humana** - 2009. Online. Disponível em < [http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2009/circular/Circ\\_133.pdf](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2009/circular/Circ_133.pdf)>. Acesso em: 21 nov. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MILHO E SORGO. **Cultivo do sorgo**. Brasília, 2014.

FERNANDES, P.G. **Avaliação agronômica de dois cultivares de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) em Sete Lagoas-MG**. 2013. 89f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. 2013.

FILHO, F. O.; BEZERRA, F. T. C.; PITOMBEIRA, J. B.; DUTRA, A. S.; BARROS, G. L. Eficiência agronômica e biológica nos consórcios da mamoneira com feijão-caupi ou milho. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 729-736, 2016.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; CIFRE, J.; ESCALONA, J. M.; GALMÉS, J.; GULIÁS, J.; LEFI, E.; MARTÍNEZ-CANELLAS, S. F; MORENO, M. T.; RIBAS-CARBÓ, M.; RIERA, D.; SAMPOL, B.; MEDRANO, H. Understanding down-regulation of photosynthesis under water stress: future prospects and searching for physiological tools for irrigation management. **Annals of Applied Biology**, v.144, p. 273-283, 2004.



FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. de M.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; NOGUEIRA, M. do S. da R.; RODRIGUES, E. V. **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 84 p, 2011.

FREIRE FILHO, F. R. F.; ROCHA, M. M.; RIBEIRO, V. Q.; Damasceno, K. J. **BRS ITAIM Cultivar de feijão-caupi com grãos tipo fradinho**. Embrapa Meio-Norte, 2009.

FREIRE FILHO, F. R.; SANTOS, A. A. dos; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S. da; RIBEIRO, V. Q. **BR 17 Gurguéia**. Embrapa Meio-Norte, 1998.

FREITAS, M. H. de; TARDIN, F. D.; TODESCATTO, F.; SANTOS, J. dos; SOUZA, J. M. S. de; ROSA, M. A. B.; ANDRÉ, V. L. S.; PARRELLA, R. A. C. **Caracterização agrônômica de genótipos de sorgo com foco em produção de energia**. Embrapa Agrosilvopastoral, 2020.

FREITAS L.; CASA GRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C. Análise multivariada na avaliação de atributos de solos com diferentes texturas cultivados com cana-de-açúcar. **Revista Ciências Agrárias**, v. 57, n. 3, p. 224-233, 2014.

FREITAS, R. M. O. et al. Produção de feijão-caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 3683-3690, 2013.

FREITAS, A. C. R. **A importâncias socioeconômica do feijão-caupi**. Embrapa Cocais, 2021. Disponível em: <[GADELHA, F. H. L. \*\*Desempenho silvicultural e avaliação econômica de clones híbridos de eucaliptos plantados em diferentes regimes de manejo para fins energéticos\*\*, 2014. 149 f. Tese \(Doutorado em Ciências Florestais\) – Universidade Federal Rural de Pernambuco \(UFRPE\).](https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao-caupi/pre-producao/socioeconomia/importancia-socioeconomica#:~:text=Na%20Regi%C3%A3o%20Nordeste%2C%20o%20feij%C3%A3o,d e%20313%20kg%20ha%2D1.>https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao-caupi/pre-producao/socioeconomia/importancia-socioeconomica#:~:text=Na%20Regi%C3%A3o%20Nordeste%2C%20o%20feij%C3%A3o,d e%20313%20kg%20ha%2D1.>. Acesso em: 17 de dez. 2022.</p></div><div data-bbox=)

GRANJA, C. V. A.; CAVALCANTE, E. P.; CAFFÉ FILHO, H. P.; SIQUEIRA, M. S.; NASCIMENTO, W. Degradação ambiental: exploração de gipsita no Polo Gesseiro do Araripe. Id On Line. **Revista de Psicologia**, v. 11, n. 36, 2017.

HATFIELD, J. L.; BOOTE, K. J.; KIMBALL, B. A.; ZISKA, L. H.; IZAURRALDE, R. C.; ORT, D.; THOMSON, A. M.; WOLFE, D. Climate impacts on agriculture: implications for crop production. **Agronomy Journal**, v.1 03, p.351–370, 2011.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2013: the physical science basis**. Cambridge: University Press, 1535 p, 2013.

IPCC. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. International Panel on Climate Change, 2021.

KUMAR, J.; KANT, R.; KUMAR, S.; BASU, P. S.; SARKER, A.; SINGH, N. P. Heat tolerance in lentil under field conditions. **Legume Genomics Genet**, v.7, p.1–11, 2016.

LAMBERS H.; CHAPIN, F. S.; PONS T. L. **Plant Physiological Ecology**, 2. ed. New York, USA: Springer, 2008.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RiMa, 550 p, 2000, 2004, 2006.

LEITE, B. Juntas, Embrapa e Latina Seeds pesquisam Gigante Boliviano em consórcio com Braquiária e Panicum. A Crítica de Campo Grande, 2021. Disponível em: <<https://www.acritica.net/editorias/agropecuaria/juntas-embrapa-e-latina-seeds-pesquisam-gigante-boliviano-em/559428/#comentar>>. Acesso em: 21 de nov. 2022.

LIMA, M. A. de; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. (Ed.), **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 397 p, 2001.

LIMA, C. J. G. S.; OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, M. K. T.; JUNIOR, A. B. A. Resposta do feijão-caupi a salinidade da água de irrigação. **Revista Verde Agroecologia Desenvolvimento Sustentável**, v.2, n.2, p.79-86, 2007.

LIJIMA, M., IZUMI, Y., YULIADI, E., SUNYOTO, ARDJASA, W.S. Cassava-based intercropping systems on Sumatra Island in Indonesia: productivity, soil erosion, and rooting zone. **Plant Production Science**. 7: 347-355, 2004.

MAGALHÃES, P. C. C.; SOUZA, T. C.; SCHAFFERT, R. E. Ecofisiologia. In: **Sistema de Produção, 9ª edição: Cultivo de Sorgo, 2015**. Disponível em: <<https://www.spo.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 21 de nov. 2021.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. **Fisiologia da Planta de Sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 4 p, 2003. (Comunicado técnico, 86).

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; RODRIGUES, J.A.S. **Cultivo do sorgo: ecofisiologia**. 5.ed. Sete Lagoas: Embrapa, 2009. (Sistema de Produção, 2).

MARENGO, J. A.; ALVES, L.M.; BESERRA, E.D.; LACERDA, F.F. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. In: Recursos Hídricos em Regiões Áridas e Semiáridas. Campina Grande – PB: Instituto Nacional do Semiárido – INSA, 2011.

MARTINS, R. N. L.; NÓBREGA, R. S. A.; SILVA, A. F. T.; NÓBREGA, J. C. A.; AMARAL, F. H. C.; COSTA, E. M.; LUSTOSA FILHO, J. F.; MARTINS, L. V. Nitrogênio e micronutrientes na produção de grão de feijão-caupi inoculado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1577-1586, 2013.

MAY, A. **Cultivo de sorgo sacarino em áreas de reforma de canaviais**. Desempenho produtivo de sorgo sacarino cultivado em reforma de canaviais nos últimos anos. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 36p, 2013. (Circular Técnica, 186).

MAY, A. et al. **Sorgo biomassa para a cogeração de energia**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 7p, 2015. (Circular Técnica, 211).

MAY, A.; PARRELLA, R. A. C.; DAMASCENO, C. M. B.; SIMEONE, M. L. F. **Sorgo como matéria-prima para produção de bioenergia: etanol e cogeração**. Sorgo: inovações tecnológicas, v 35, n. 278, p. 73 – 81. 2014.

MESQUITA, R. O.; PINHO, J. L. N.; BRAGA, M. M. Preparo do solo e plantio. In: VALE, J. C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Viçosa: Ed. UFV, p. 70-88, 2017.

MEAD, R.; WILLEY, R. W. The concept of a land equivalent ratio and advantages in yields for intercropping. **Experimental Agriculture**, v. 16, p. 217-228, 1980.

NAIK, D. K.; MONIKA, K.; PRABHAKAR, S.; PARTHASARATHY, R.; SATYAVATHI, B. Pyrolysis of sorghum bagasse biomass into bio-char and bio-oil products. A thorough physicochemical characterization. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Dordrecht**, v. 127, n. 2, p. 1277-1289, 2017.

NETO, A. L. V.; HEINZ, R.; GONÇALVES, M. C.; CORREIA, A. M. P.; MOTA, L. H. S.; ARAÚJO, W. D. Milho pipoca consorciado com feijão em diferentes arranjos de plantas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 1, p. 28-33, 2012.

OLIVEIRA, A. B.; MESQUITA, R. O.; GUIMARÃES, M. A.; NETO, H. S. L.; SILVA, T. M. Preparo do solo e plantio. In: DO VALE, J. C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Viçosa: Ed. UFV, p. 52-69, 2017.

OLIVEIRA, L. A. D. **Avaliação agrônômica e índices de eficiência de um consórcio de hortaliças da agricultura sintrópica**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 67p, 2019.

OLIVEIRA, M. G. C.; OLIVEIRA, L. F. C.; WENDLAND, A.; GUIMARÃES, C. M.; QUINTELA, E. D.; BARBOSA, F. R.; CARVALHO, M.C.S.; LOBO JUNIOR M.; SILVEIRA, P. M. **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos**. Brasília: Embrapa Arroz e Feijão, 59 p, 2018.

OLIVEIRA, R.; FRANÇA, A.; SILVA, A. da; MIYAGI, E.; OLIVEIRA, E. de; PERÓN, H. **Composição bromatológica de quatro híbridos de sorgo forrageiro sob doses de nitrogênio**. *Ciência Animal Brasileira*, v. 10, n. 4, 2009.

PARRELLA, R. A. C. **Desempenho agrônômico de híbridos de sorgo biomassa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 19 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 41).  
PARRELLA, R. A. C.; MENEZES, C. B.; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D.; SCHAFFERT, R. E. **Sorgo do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 275p, 2014.

PARRELLA, R. A. C.; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D.; DAMASCENO, C. M. B.; SCHAFFERT, R. E. **Desenvolvimento de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 25p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 28).

PERIN, A.; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G. Cobertura do solo e acumulação de nutrientes pelo amendoim forrageiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.791-796, 2003.

REDDY, S. J.; AMORIM NETO, M. S. **Dados de precipitação, evapotranspiração potencial, radiação solar global de alguns locais e classificação climática do Nordeste do Brasil**. Petrolina: EMBRAPA/CPATSA, 280 p, 1983.

REZENDE, G.M.; PIRES, D. A. A.; BOTELHO, P. R. F.; ROCHA JÚNIOR, V. R.; SALES, E. C. J.; JAYME, D. G.; REIS, S. T.; PIMENTEL, L. R.; LIMA, L. O. B.; KANEMOTO, E. R.; MOREIRA, P. R. Características agronômicas de cinco genótipos de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], cultivados no inverno, para a produção de silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.10, n.2, p.171-179, 2011.

RIBAS, P. M. Sorgo: **introdução e importância econômica**. Embrapa Milho e Sorgo Documentos (INFOTECA-E), 2003.

RIBEIRO, R.V.; MACHADO, E. C. Some aspects of citrus ecophysiology in subtropical climates: re-visiting photosynthesis under natural conditions. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, p. 393-411, 2007.

RUGGIERI, A. C.; CARDOSO, A. S da. Balanço de carbono em sistemas de produção animal: fontes de emissão e opções de mitigação. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 25, p. 1-2, 2017.

SABOYA, R. C. C.; BORGES, P. R. S.; SABOYA, L. M. F.; MONTEIRO, A. E. A. SOUZA, F. P. dos R.; SANTOS, A. F. Response of cowpea to inoculation with nitrogen-fixing strains in Gurupi-Tocantins State. **Journal of Biotechnology and Biodiversit**, v. 4, n. 1, p.40-48, 2013.

SANTOS, C. A. F. **Feijão-caupi BRS Carijó: cultivar do tipo fradinho, precoce e de porte ereto para o Vale do São Francisco**. Embrapa Semiárido, 2011.

SANTOS, C. A. F. Melhoramento do Feijão-Caupi para Temperaturas Moderadas e Elevadas no Vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.6, p. 1151-1162, 2011.

SANTOS, J. M. R.; OLIVEIRA, A. R.; MELO, R. F.; SANTOS, M. L. S. **Viabilidade do cultivo consorciado de sorgo sacarino e feijão-caupi em barragem subterrânea em regiões Semiáridas**. Embrapa semiárido, 2017. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/173688/1/Roseli-2017-1.pdf>>. Acesso em: 21 de nov. 2022.

SANTOS, F.C.; RESENDE, A. V.; COELHO, A. M. **Exigências nutricionais e adubação**. In: PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. (Ed.), 2012.

SEBRAE-PE. Webinar: **Diálogos com o setor mineral: soluções ambientais para a sustentabilidade da matriz energética dos APL de base mineral**. 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=2R58S1HcVB0&feature=youtu.be>>. Acesso em: 21 de nov. 2021.

SECTMA/MMA, **Região do Araripe-Pernambuco. Diagnóstico florestal**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 91 p, 2007.

SEHGAL, A.; SITA, K.; SIDDIQUE, K.H.M.; KUMAR, R.; BHOGIREDDY, S.; VARSHNEY, R.K.; RAO, B.H.; NAIR, R.M.; PRASAD, P.V.V.; NAYYAR, H. Drought or/and Heat-Stress Effects on Seed Filling in Food Crops: Impacts on Functional Biochemistry, Seed Yields, and Nutritional Quality. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1705, 2018.

SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO, J. E. B de A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET, 530 p, 2009.

SHAKOOR, U., SABOOR, A., ALI, I., MOHSIN, A.Q. IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON AGRICULTURE: EMPIRICAL EVIDENCE FROM ARID REGION. **Pak. J. Agri. Sci.**, p. 327-333; 2011.

SINDUSGESSO. **Potencialidades do Polo Gesseiro do Araripe: Simpósio Pólo Gesseiro do Araripe: potencialidades, problemas e soluções**. Recife: Instituto Agrônômico de Pernambuco, 22p, 2014.

SINGH, B. B.; MATSUI, T.; Cowpea varieties for drought tolerance. In: FATOKUN, C. A.; TARAWALI, S. A.; SINGH, B. B.; KORMAWA, P. W.; TAMÓ, M. (Eds.) Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production. **Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture**, p. 287-300, 2002.

SINSAWAT, V.; LEIPNER, J.; STAMP, P.; FRACHEBOUD, Y. Effect of heat stress on the photosynthetic apparatus in maize (*Zea mays* L.) grown at control or high temperature Environ. **Journal of Experimental Botany**, v.52, p.123-129, 2004.

TABOSA, J. N. **Cadernos do Semiárido riquezas e oportunidade**. Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco. Recife: CREA-PE: Editora UFRPE, v. 15, n.2, 2020.

TEIXEIRA, I. R.; SILVA, G. C.; TIMOSSI, P. C.; SILVA, A. G. Desempenho agrônômico de cultivares de feijão-comum consorciado com mamona. **Revista Caatinga**, v.24, p. 55-61, 2011.

WEF - World Economic Forum Global Risks Report 2020. Disponível em: <<https://www.weforum.org/global-risks/reports>>. Acesso em: 21 de nov. 2022.

WIGHT, J. P.; HONS, F. M.; STORLIEN, J. O.; PROVIN, T. L. Management effects on bioenergy sorghum growth, yield and nutrient uptake. **Biomass and Bioenergy**, p. 593-604, 2012.

VALE, J. C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. 2017. **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV. 267 p.

VIEIRA, C. **Cultivos consorciados**. In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉM, A. Feijão. 2. ed. Viçosa: Ed. da UFV, 2006. p 493-52.

ZHANG, F., SHEN, J., LI, L., LIU, X. An overview of rhizosphere processes related with plant nutrition in major cropping systems in China. **Plant and Soil**, p. 89-99, 2004.

## 2 Desempenho Produtivo de Cultivares de Sorgo Biomassa e Feijão-Caupi em Diferentes Sistemas de Cultivo e Épocas de Plantio

### RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho produtivo de cultivares de sorgo biomassa e feijão-caupi em diferentes sistemas de cultivo e épocas de plantio. Foram utilizadas quatro cultivares de feijão-caupi: BRS Itaim, BRS Gurguéia, BRS Guariba e BRS Carijó e duas cultivares de sorgo biomassa: BRS 716 e AGRI-002E em sistema consorciado e em monocultivo. As cultivares foram plantadas em duas épocas distintas: junho (época 1) e dezembro (época 2) de 2021. Foram avaliados parâmetros biométricos e produtivos do sorgo e do feijão-caupi. Os dados foram submetidos à análise multivariada. A produtividade das cultivares de sorgo biomassa não foi influenciada pelo sistema de produção, apresentando maior produção com plantio em dezembro. A escolha da época de plantio em função da temperatura e do fotoperíodo pode ser determinante para o crescimento e desenvolvimento do sorgo. Na produtividade das cultivares de feijão-caupi não houve diferença significativa para os sistemas de cultivo e épocas de plantio. Por meio do uso eficiente da terra o consórcio revelou vantagem sobre o monocultivo para as combinações da cultivar de sorgo BRS 716 com as cultivares de feijão-caupi BRS Carijó, BRS Guariba e BRS Gurguéia, no plantio em dezembro.

**Palavras-chaves:** *Sorghum bicolor* L. Moench; *Vigna unguiculata* L. Walp; consórcio; monocultivo; temperatura.

### ABSTRACT

This work aimed to evaluate the productive performance of biomass sorghum and cowpea cultivars in different cropping systems and planting times. Four cowpea cultivars were used: BRS Itaim, BRS Gurguéia, BRS Guariba and BRS Carijó and two biomass sorghum cultivars: BRS 716 and AGRI-002E in intercropping and monoculture systems. The cultivars were planted at two different times: June (season 1) and December (season 2) of 2021. Biometric and productive parameters of sorghum and cowpea were evaluated. Data were submitted to multivariate analysis. The productivity of biomass sorghum cultivars was not influenced by the production system, showing higher production with planting in December. The choice of planting time as a function of temperature and photoperiod can be decisive for the growth and development of sorghum. There was no significant difference in the productivity of cowpea cultivars for cropping systems and planting times. Through efficient land use, the consortium revealed an advantage over monoculture for the combinations of sorghum cultivar BRS 716 with cowpea cultivars BRS Carijó, BRS Guariba and BRS Gurguéia, in planting in December.

**Keywords:** *Sorghum bicolor* L. Moench; *Vigna unguiculata* L. Walp; consortium; monoculture; temperature.

## INTRODUÇÃO

As emissões dos gases de efeito estufa representam um alerta, uma vez que estão acima das estimativas do relatório do IPCC de 2007 (IPCC 2021). Como consequência têm-se o aumento da temperatura e as alterações no padrão das precipitações impactando diretamente a produção agrícola (IPCC 2021). Neste sentido, a implantação de uma agricultura de baixa emissão de carbono, com formas mais eficientes e limpas de energia, otimização do uso da terra com sistemas integrados de produção, rotação de culturas, consórcios, entre outros serão imperativos para enfrentar as alterações climáticas (Giongo & Angelotti 2022; Angelotti & Giongo 2019). Estas tecnologias se destacam como medidas de adaptação, podendo contribuir para o sequestro de carbono (Angelotti & Giongo 2019).

Opções de consórcio intercalando plantas que possam ser utilizadas na alimentação humana com plantas para uso como biomassa poderá ser estratégico para garantir a segurança alimentar e energética (Angelotti et al. 2022), notadamente, em regiões mais vulneráveis, como o Semiárido brasileiro. Assim, o sorgo biomassa [*Sorghum bicolor* (L) Moench] se destaca como uma alternativa promissora para geração de energia e substituição do uso da lenha da Caatinga (Angelotti et al. 2022). Com elevada produção de biomassa vegetal, o sorgo biomassa pode atingir 6,0 m de altura e a produção de massa verde pode variar de 120 a 150 t ha<sup>-1</sup>, com ciclo de 180 dias em média, apresentando potencial para queima em caldeiras de usinas de grande porte ou termelétricas (May et al. 2014).

Uma cultura que pode ser cultivada em consórcio com o sorgo é o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.), que tem importância estratégica devido ao valor socioeconômico para o Nordeste, e principalmente, por ser componente alimentar básico das populações, como fonte de proteínas, carboidratos, rico em fibras e minerais, sendo considerada como uma cultura chave na questão da segurança alimentar (Bonfim-Silva et al. 2018; Carvalho et al. 2019). Além do consumo humano, o feijão-caupi também é utilizado como forragem verde, feno, ensilagem e farinha para alimentação animal, adubação verde e proteção do solo (Do Vale et al. 2017).

Dessa forma, a utilização de consórcio entre sorgo biomassa e o feijão-caupi, a partir de cultivares selecionadas com tolerância às altas temperaturas, torna-se uma alternativa relevante para maior estabilidade da produção, reduzindo os riscos de perdas agrícolas decorrentes das incertezas climáticas (Angelotti et al. 2022). O consórcio também propicia o aumento da proteção vegetativa do solo contra a erosão, contribui para o aproveitamento de

nutrientes, água e CO<sub>2</sub>, além de auxiliar no controle das plantas daninhas e na redução da incidência de pragas e doenças (Devide et al. 2009; Albuquerque et al. 2012).

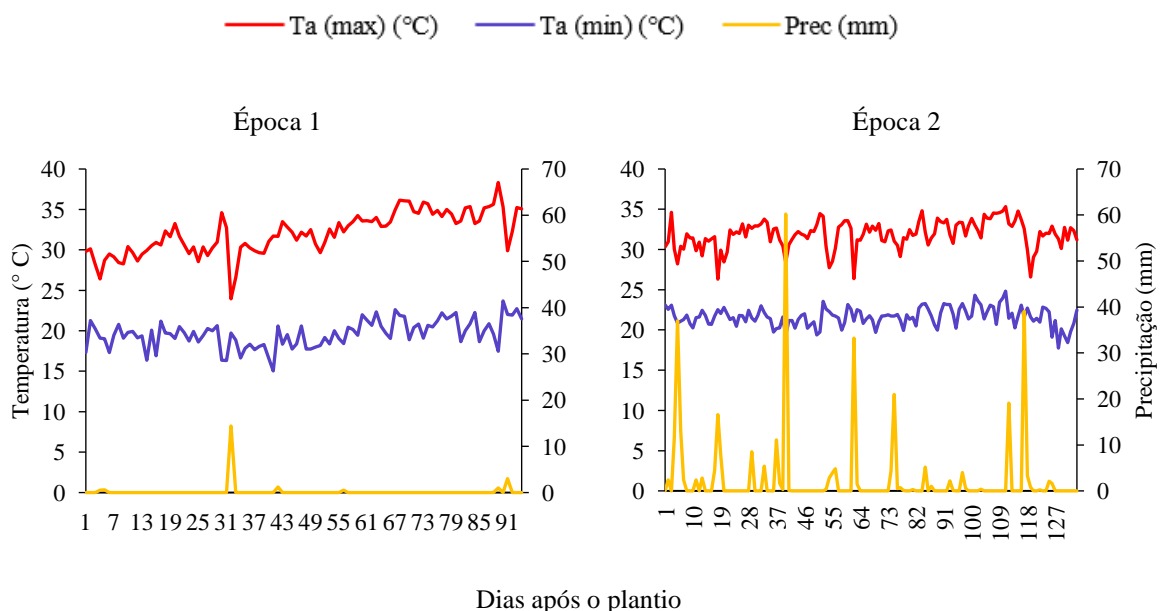
Diante disso, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho produtivo de cultivares de sorgo biomassa e feijão-caupi em diferentes sistemas de cultivo e épocas de plantio.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Campo Experimental da Caatinga, pertencente à Embrapa Semiárido, em Petrolina - PE, na região do Submédio do Vale do São Francisco (latitude 9° 8' 8,9" S, longitude 40° 18' 33,6" O, altitude 373 m), com precipitação média anual de 400 mm, umidade relativa média do ar de 67,8% e temperatura média do ar de 26,5°C (Reddy; Amorim Neto 1983). O clima da região é classificado como semiárido, tipo BSh, de acordo com a classificação de Köppen. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (Embrapa 2018), textura média e relevo plano.

Os dados climáticos foram obtidos, durante o período experimental, por meio da estação de monitoramento meteorológica automática, localizada na Embrapa Semiárido (Figura I).

**Figura I.** Temperatura máxima ( $T_a$  (max) (°C)), Temperatura mínima ( $T_a$  (min) (°C)), Precipitação (Prec (mm)) e ciclo do sorgo biomassa e feijão-caupi (plantio à colheita) de duas épocas de plantio (época 1 e época 2) de junho a setembro de 2021 e de dezembro a maio de 2022.





Os tratamentos foram provenientes da associação de quatro cultivares de feijão-caupi (BRS Itaim, BRS Gurguéia, BRS Guariba e BRS Carijó) e duas cultivares de sorgo biomassa (BRS 716 e Agri-002E) cultivadas em monocultivo e combinadas entre si em consórcio, totalizando 14 tratamentos (Tabela I), com três repetições. O experimento foi instalado em duas épocas diferentes de plantio (junho e dezembro de 2021).

**Tabela I.** Tratamentos utilizados no experimento.

Monocultivo	Consórcio
T1: BRS Itaim (feijão-caupi)	T7: BRS Itaim x BRS716
T2: BRS Gurguéia (feijão-caupi)	T8: BRS Itaim x AGRI002
T3: BRS Guariba (feijão-caupi)	T9: BRS Gurguéia x BRS716
T4: BRS Carijó (feijão-caupi)	T10: BRS Gurguéia x AGRI-002E
T5: BRS716 (sorgo biomassa)	T11: BRS Guariba x BRS716
T6: AGRI-002E (sorgo biomassa)	T12: BRS Guariba x AGRI-002E
	T13: BRS Carijó x BRS716
	T14: BRS Carijó x AGRI-002E

Nos tratamentos com consórcio, as parcelas foram constituídas de oito fileiras de 3,0 m de comprimento e 0,70 m entre linhas, com área total de 16,80 m<sup>2</sup> (3,0 m x 5,6 m). Os tratamentos foram distribuídos dentro das parcelas de forma intercalada, de forma que, a cada duas linhas de feijão eram plantadas duas linhas de sorgo (Figura II).

Nos tratamentos com monocultivo as parcelas de feijão-caupi foram constituídas de três fileiras de 3,0 m de comprimento com área total de 6,20 m<sup>2</sup> (3,0 m x 2,1 m), e as de sorgo com uma área total de 16,80 m<sup>2</sup> (3,0 m x 5,6 m). A área total do experimento foi de 1.016 m<sup>2</sup> (Figura II).

Foram semeadas 14 sementes por metro linear para ambas as culturas, realizando-se o desbaste 15 dias após o plantio, deixando-se sete plantas por metro linear. A irrigação foi realizada por meio de gotejamento, com espaçamento de 30 cm entre gotejadores e manejada conforme a demanda hídrica de cada cultura. A adubação, aplicada via fertirrigação, foi realizada conforme resultados da análise de solo e as recomendações para as culturas do sorgo (Santos et al. 2012) e do feijão-caupi (Cavalcanti et al. 2008).

Para as análises biométricas e de produtividade da biomassa fresca e seca do sorgo, foram colhidas cinco plantas aleatoriamente na área central de cada parcela, com dimensão de 4 m<sup>2</sup> para evitar o efeito de bordadura. A colheita do sorgo foi realizada quando 50% dos grãos ou mais estavam na fase pastosa, enquanto para o feijão-caupi, o ponto de colheita foi considerado quando as vagens estavam secas (Oliveira et al. 2018).

No plantio em 30 de junho de 2021, o ciclo do sorgo foi de 90 dias e do feijão-caupi foi de 79 dias. Para o plantio em 21 de dezembro de 2021, o ciclo do sorgo e do feijão-caupi foi de 135 e 77 dias, respectivamente.

Foram avaliadas as seguintes variáveis biométricas e de produtividade do sorgo: altura de planta (m), com um auxílio de uma trena graduada, medindo-se da base do solo até a inserção da última folha aberta; diâmetro do colmo (mm), com auxílio de um paquímetro digital, onde foram tomadas duas medições entre o segundo e terceiro entrenós, as quais geraram uma média, cujo valor foi utilizado nas análises; número de folhas, obtido por meio de contagem simples das folhas expandidas; biomassa fresca da parte aérea, cortando-se a planta rente ao chão com auxílio de uma tesoura de poda. A planta foi separada em três componentes: folhas, colmo e panícula, sendo posteriormente determinadas as biomassas frescas (kg) com o auxílio de uma balança analítica. Para determinação da biomassa seca as amostras foram colocadas em estufa de circulação forçada, à temperatura de 60 °C, até atingir peso constante ( $\pm 72$  h), e posteriormente pesadas em balança analítica.

Para o feijão-caupi foram avaliadas as variáveis: número total de vagens por planta (contagem simples), comprimento de vagem (cm) (com uso de régua graduada), o diâmetro vagem (mm) (com uso de paquímetro), número de grãos (contagem simples), massa média vagem (g) (em balança analítica) e a massa média dos grãos (g) (em balança analítica), determinados conforme as regras para Análise de Sementes (Brasil 2009).

As variáveis foram analisadas com objetivo de verificar se os dados apresentavam normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk ( $p < 0,05$ ), e homoscedasticidade de variâncias, pelo teste de Levene ( $p < 0,05$ ), e identificar outliers e a matriz de correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ) que, de acordo com Pestana & Gageiro (2005), Hair et al. (2005) e Ho (2006) são suposições para realização da análise dos componentes principais (ACP). As hipóteses de normalidade dos dados foram verificadas pelo teste de Shapiro-Wilk ( $p < 0,05$ ).

O coeficiente de correlação, é um valor adimensional, variando de -1 a 1, sendo o valor igual a zero, o que representa a falta de relação linear entre as variáveis. Por meio desses coeficientes as correlações podem ser classificadas como nula ( $r = 0$ ), fraca ( $0 < r < 0,3$ ), média ( $0,30 < r < 0,60$ ), forte ( $0,60 < r < 0,90$ ), muito forte ( $0,90 < r < 1$ ) e correlação perfeita

( $r = 1$ ) (Carvalho et al. 2004). Além disso, podem ser consideradas de relação direta, quando positivas, e inversa, quando houver a tendência de uma característica aumentar em detrimento da redução da outra (Dias et al. 2018), representada por coeficientes negativos.

Para reduzir os erros, devidos às escalas e unidades das variáveis, os dados foram padronizados com média zero e variância 1 (Freitas et al. 2014).

Os dados padronizados foram submetidos às análises de componentes principais (ACP) e de agrupamento (AA), o agrupamento seguiu o método hierárquico, usando a distância Euclidiana como medida de semelhança entre os registros e o método de Ward como estratégia de agrupamento. Em seguida foi traçada a Linha Fenon na horizontal para determinar o número de grupos formados. As análises estatísticas dos dados foram realizadas com o auxílio do software estatístico Statistica 14.0.0.15. Realizou-se análise multivariada com teste F, comparando os grupos formados no agrupamento de acordo com suas características.

Por fim, realizou-se o cálculo do índice de uso eficiente da terra (UET) que representa a área relativa cultivada em monocultivo requerida para proporcionar os rendimentos alcançados no consórcio. O UET dos sistemas de cultivo foi calculado por meio da fórmula  $UET = (Y_{ab}/Y_{aa}) + (Y_{ba}/Y_{bb})$ , 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 monocultivo. Já, o  $Y_{ba}$  e  $Y_{bb}$  são pertencentes à produtividade da cultura secundária em sistema consorciado e monocultivo, 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. 2021).

## RESULTADOS

Para o sorgo, as correlações em geral entre as variáveis foram classificadas como fortes, muito fortes e diretas, com valores de coeficientes positivos e acima de 0,60. Podem-se destacar as correlações entre o diâmetro do colmo e a massa fresca do colmo (DC-MFC) (0,97), o diâmetro do colmo e a massa fresca total (DC-MFT) (0,97), a massa fresca do colmo e a massa fresca total (MFC-MFT) (1,00) e a massa seca do colmo e a massa seca total (MSC-MST) (1,00). Isto leva a inferir que cultivares que apresentam maior diâmetro do colmo, também apresentam maior produtividade de biomassa de colmo e total. A correlação positiva

e muito forte também foi observada entre as variáveis altura e massa fresca do colmo (AL-MFC) (0,96) e altura e massa fresca total (AL-MFT) (0,94) (Tabela II).

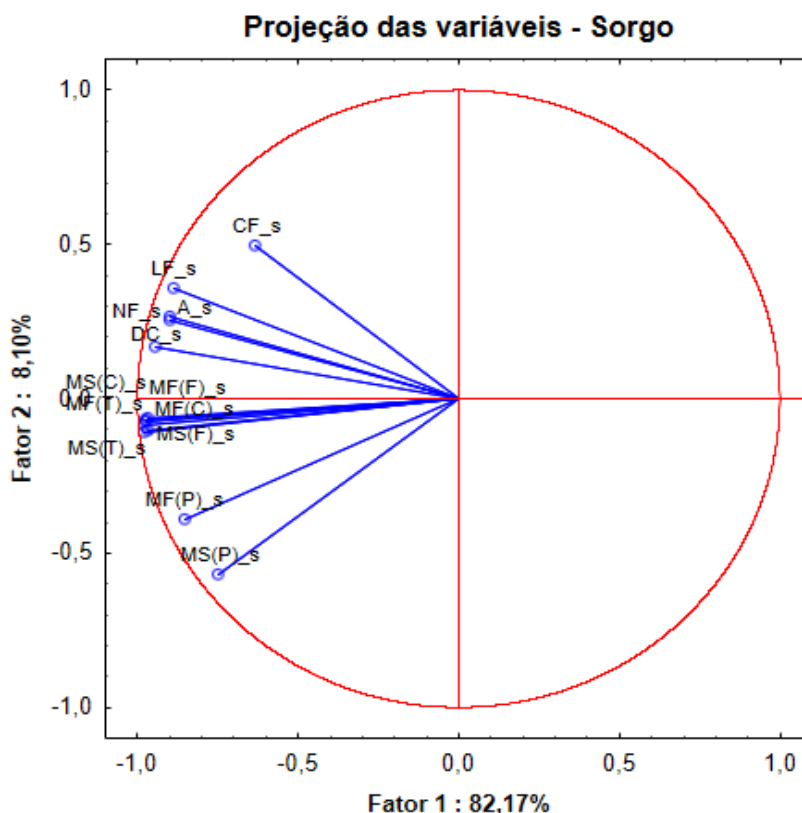
**Tabela II:** Matriz de correlação linear de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre as variáveis biométricas e de produtividade avaliadas nas cultivares de sorgo Agri-002E e BRS 716, cultivadas em sistema consorciado e em monocultivo, em duas épocas de plantio (junho a setembro de 2021 e de dezembro de 2021 a maio de 2022).

Variáveis	AL	NF	DC	CF	LF	MFF	MSF	MFC	MSC	MFP	MSP	MFT	MST
AL	1,00												
NF	<b>0,95</b>	1,00											
DC	<b>0,94</b>	<b>0,94</b>	1,00										
CF	<b>0,47</b>	<b>0,48</b>	<b>0,53</b>	1,00									
LF	<b>0,78</b>	<b>0,79</b>	<b>0,87</b>	<b>0,73</b>	1,00								
MFF	<b>0,88</b>	<b>0,90</b>	<b>0,94</b>	<b>0,61</b>	<b>0,92</b>	1,00							
MSF	<b>0,92</b>	<b>0,93</b>	<b>0,96</b>	<b>0,58</b>	<b>0,90</b>	<b>0,99</b>	1,00						
MFC	<b>0,96</b>	<b>0,95</b>	<b>0,97</b>	<b>0,50</b>	<b>0,86</b>	<b>0,95</b>	<b>0,97</b>	1,00					
MSC	<b>0,93</b>	<b>0,93</b>	<b>0,95</b>	<b>0,54</b>	<b>0,87</b>	<b>0,94</b>	<b>0,96</b>	<b>0,98</b>	1,00				
MFP	<b>0,54</b>	<b>0,63</b>	<b>0,64</b>	<b>0,33</b>	<b>0,60</b>	<b>0,68</b>	<b>0,67</b>	<b>0,65</b>	<b>0,66</b>	1,00			
MSP	<b>0,40</b>	<b>0,51</b>	<b>0,52</b>	0,23	<b>0,51</b>	<b>0,58</b>	<b>0,56</b>	<b>0,52</b>	<b>0,52</b>	<b>0,95</b>	1,00		
MFT	<b>0,94</b>	<b>0,95</b>	<b>0,97</b>	<b>0,52</b>	<b>0,87</b>	<b>0,97</b>	<b>0,98</b>	<b>1,00</b>	<b>0,98</b>	<b>0,69</b>	<b>0,57</b>	1,00	
MST	<b>0,92</b>	<b>0,93</b>	<b>0,96</b>	<b>0,54</b>	<b>0,89</b>	<b>0,96</b>	<b>0,97</b>	<b>0,99</b>	<b>1,00</b>	<b>0,71</b>	<b>0,59</b>	<b>0,99</b>	1,00

Os valores em destaque são significativos ao nível de 5 % de probabilidade. AL: altura (cm); NF: número de folhas; DC: diâmetro do colmo (mm); CF: comprimento da folha (cm); LF: largura da folha (cm); MFF: massa fresca da folha (t/ha); MSF: massa seca da folha (t/ha); MFC: massa fresca do colmo (t/ha); MSC: massa seca do colmo (t/ha); MFP: massa fresca da panícula (t/ha); MSP: massa seca da panícula (t/ha); MFT: massa fresca total (t/ha); MST: massa seca total (t/ha).

Por meio da análise dos componentes principais, foi possível extrair duas componentes, a primeira (CP1), responsável pela explicação de 82,17% da variabilidade dos dados, tendo como variáveis de maior peso ( $>0,65$ ) às produtividades de biomassa (produção de biomassa fresca e seca das folhas, da panícula, do colmo e a produção total). A segunda (CP2), explica 8,10%, é representada pelas variáveis de biometria, altura da planta e largura da folha. As duas componentes juntas explicam 90,27% da variância total dos dados (Figura III).

**Figura II.** Variáveis do sorgo biomassa, AL: altura (cm); NF: número de folhas; DC: diâmetro do colmo (mm); CF: comprimento da folha (cm); LF: largura da folha (cm); MFF: massa fresca da folha (kg ha<sup>-1</sup>); MSF: massa seca da folha (kg ha<sup>-1</sup>); MFC: massa fresca do colmo (kg ha<sup>-1</sup>); MSC: massa seca do colmo (kg ha<sup>-1</sup>); MFP: massa fresca da panícula (kg ha<sup>-1</sup>); MSP: massa seca da panícula (kg ha<sup>-1</sup>); MFT: massa fresca total (kg ha<sup>-1</sup>); MST: massa seca total (kg ha<sup>-1</sup>), cultivado em sistema consorciado e monocultivo, em duas épocas de plantio (junho a setembro de 2021 e de dezembro de 2021 a maio de 2022).

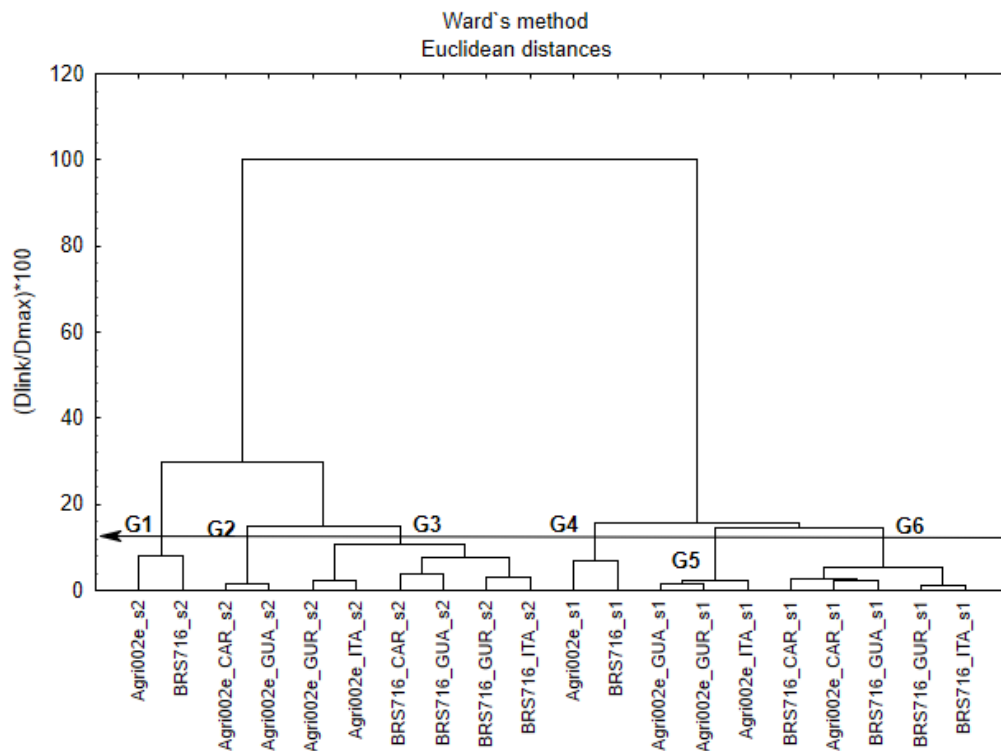


Utilizando-se essas variáveis com maior peso dentro de cada componente e que melhor caracterizaram a variabilidade dos dados, separaram-se os conjuntos de tratamentos com maiores semelhanças por meio da análise de agrupamento pelo método hierárquico, reunindo os tratamentos em seis grupos específicos: G1, G2, G3, G4, G5 e G6 (Figura IV).

Os grupos apresentaram como principal padrão de separação o tipo de sistema de cultivo (monocultivo e consorciado) e as épocas de cultivo (1 e 2) (Figura IV). Esse resultado confirma que o sistema de plantio e a época de cultivo foram os fatores preponderantes para a geração da variabilidade dos dados obtidos e, assim, responsáveis pela separação desses grupos. Vale ressaltar que, quanto mais próximos forem os tratamentos dentro de cada grupo e dos grupos entre si, mais semelhantes são as suas características, e quanto mais distantes, são mais contrastantes entre si.

Para o sorgo biomassa, o grupo 1 foi formado pelo monocultivo das cultivares (Agri-002E e BRS 716) na época 2. O grupo 2 pelo consórcio do sorgo Agri-002E com as cultivares de feijão-caupi Carijó e Guariba, na época 2. O grupo 3 constituído pelo consórcio da cultivar BRS 716 com as quatro cultivares de feijão-caupi, além do consórcio do sorgo Agri-002E com as cultivares Itaim e Gurguéia, todos na época 2. O grupo 4 formado pelo monocultivo das cultivares de sorgo Agri 00 2e e BRS 716 na época 1. Já o grupo 5 foi formado pelo consórcio de Agri-002E com as cultivares Guariba, Gurguéia e Itaim na época 1. O consórcio Agri-002E com a cultivar Carijó ficou no grupo 6, juntamente com o agrupamento dos consórcios da cultivar de sorgo BRS 716, na época 1.

**Figura III:** Dendrograma mostrando a hierarquia de grupos entre variáveis de sorgo (Agri-002E e BRS 716) cultivado em sistema consorciado e monocultivo, em duas épocas de plantio (junho a setembro de 2021 e de dezembro de 2021 a maio de 2022), resultante da análise de agrupamento por método hierárquico.



CAR: BRS Carijó; GUA: BRS Guariba, GUR: BRS Gurguéia; ITA: BRS Itaim; s1: época 1 e s2: época 2.

A diferença entre os grupos foi verificada por meio da análise de variância multivariada com teste Wilks, com o valor F correspondente, comparando-se os grupos, e, confirmando que os grupos formados foram diferentes entre si (Tabela III). A partir desta

análise foi possível identificar o efeito dos sistemas de cultivo e das épocas de plantio no desempenho das cultivares.

Pode-se observar que os grupos 1, 2 e 3 foram representados pela época de cultivo em dezembro (época 2), que apresentou temperatura máxima de 35,33 °C e precipitação de 340,90 mm. Em contrapartida, os grupos 4, 5 e 6, abrangeram a época 1, com temperatura máxima de 38,33 °C e precipitação de 21,20 mm. Os grupos 1, 2 e 3 apresentaram melhor desempenho das variáveis biométricas e produtivas (Tabela III), com exceção para o comprimento da folha (CF) e a massa fresca da panícula (MFP) que não foram significativos para agrupar os tratamentos.

Ressalta-se que em cada época de cultivo, os grupos representados pelos monocultivos G1 e G4 apresentaram destaque para a produtividade de biomassa. Independente da época e do tipo de cultivo, o grupo 1, formado pelos monocultivos instalados na época 2, apresentou melhor desempenho de crescimento e de produtividade de biomassa fresca e seca de folha, de colmo e total, mas com biomassa fresca e seca da panícula, semelhantes ao G2.

O grupo 2 constituído pela cultivar Agri-002E em comparação ao grupo 3, formado por grande parte pelo consórcio da cultivar BRS 716 obteve maior produtividade, sendo influenciada pela relação entre as variáveis biométricas NF, DC, CF e LF e produtivas MFF, MSF, MFC, MSC, MFP, MSP, MFT e MST. Esse padrão também foi observado na época 1, no qual o grupo 5 constituído pelo consórcio da cultivar Agri-002E obteve maior produtividade em relação ao grupo 6 constituído por grande parte do consórcio de BRS 716. Essa diferença entre os grupos, mostra que a cultivar Agri-002E obteve a melhor resposta produtiva em relação a cultivar BRS 716, tanto em um sistema de cultivo, quanto no outro, independente da época de cultivo. A relação entre as variáveis biométricas e produtivas na época de cultivo 2 evidenciam a maior produtividade das cultivares para este período de plantio.

**Tabela III.** Médias seguidas do desvio padrão dos agrupamentos formados na análise multivariada entre as variáveis das cultivares de sorgo biomassa, plantado em sistema de consórcio e monocultivo, em duas épocas de plantio (junho a setembro de 2021 e de dezembro de 2021 a maio de 2022), resultante da análise de agrupamento por método hierárquico.

Variáveis	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4		Grupo 5		Grupo 6	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
<b>AL</b>	388,97	15,32	353,40	14,12	361,93	18,67	157,89	14,18	162,76	12,63	143,27	13,19
<b>NF</b>	17,10	1,02	17,70	0,86	16,11	2,11	7,57	0,47	7,44	0,55	7,40	1,13
<b>DC</b>	28,59	2,46	28,54	1,96	25,98	2,17	17,16	1,27	16,68	0,99	16,00	1,03
<b>CF</b>	85,84	6,48	93,93	1,76	80,87	10,27	77,58	11,92	83,89	7,40	65,84	7,18
<b>LF</b>	10,54	0,97	11,02	0,34	10,25	0,93	8,67	0,76	8,64	0,89	7,93	0,47
<b>MFF</b>	26698,98	7121,34	16442,86	1755,89	12198,24	2625,23	8027,72	3018,72	4495,24	878,78	2842,72	1008,38
<b>MSF</b>	10631,63	1780,58	5931,46	475,43	4689,97	853,31	3007,99	1243,20	1627,89	265,28	1204,49	356,23
<b>MFC</b>	136600,35	18996,20	70821,43	11433,12	66198,98	8957,33	31317,18	10892,67	17203,97	3189,89	12137,96	3727,37
<b>MSC</b>	42494,22	7082,02	23946,09	3333,32	22069,67	3268,89	14554,08	6760,20	7090,93	1844,79	4698,78	1764,54
<b>MFP</b>	9754,76	1309,57	9362,93	1010,91	6128,00	1964,95	7052,04	649,51	3359,07	767,51	3978,98	1115,29
<b>MSP</b>	4843,88	467,94	4283,16	379,49	2804,82	801,69	3856,29	487,79	1808,05	445,82	2414,29	610,80
<b>MFT</b>	173054,09	25399,68	96627,21	12942,93	84525,23	11974,30	46396,94	14029,13	25058,28	4582,05	18959,66	5080,48
<b>MST</b>	57969,73	8727,94	34160,72	3576,69	29564,46	4421,69	21418,37	7875,96	10526,87	2268,81	8317,55	2045,72
<b>Teste F</b>	<b>G1xG2</b>	<b>G1xG3</b>	<b>G1xG4</b>	<b>G1xG5</b>	<b>G1xG6</b>	<b>G2xG3</b>	<b>G2xG4</b>	<b>G2xG5</b>	<b>G2xG6</b>	<b>G3xG4</b>	<b>G3xG5</b>	<b>G3xG6</b>
	201,28**	169,95**	495,77**	365,17**	516,23**	150,71**	244,86**	122,05**	377,71**	236,75**	274,24**	434,55**
	<b>G4xG5</b>	<b>G4xG6</b>	<b>G5xG6</b>									
	30,82**	43,67**	53,78**									

DP: Desvio padrão, AL: altura (cm); NF: número de folhas; DC: diâmetro do colmo (mm); CF: comprimento da folha (cm); LF: largura da folha (cm); MFF: massa fresca da folha (t/ha); MSF: massa seca da folha (t/ha); MFC: massa fresca do colmo (t/ha); MSC: massa seca do colmo (t/ha); MFP: massa fresca da panícula (t/ha); MSP: massa seca da panícula (t/ha); MFT: massa fresca total (t/ha); MST: massa seca total (t/ha) e \*\* 1% de significância.



Para o feijão-caupi, as correlações foram consideradas fracas e diretas, com valores de coeficientes positivos e acima de 0,30 (Tabela IV). Destacam-se as correlações entre o número total de vagens e o peso da vagem (NTV-PV) (0,46) e o número total de vagens com o peso dos grãos da vagem (NTV-PGV) (0,43). Verificou-se a presença de valores de coeficientes negativos médio e fortes, incluindo o número total de vagens e diâmetro da vagem (NTV-DV) (-0,44) e diâmetro da vagem e número dos grãos da vagem (DV-NGV) (-0,75), respectivamente. A variável com melhor correlação positiva, direta e muito forte foi o peso da vagem e peso dos grãos da vagem (PV-PGV) (0,99).

**Tabela IV:** Matriz de correlação linear de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre as variáveis de feijão-caupi (BRS Carijó, BRS Guariba, BRS Gurguéia e BRS Itaim) cultivadas em sistema consorciado e monocultivo, em duas épocas de plantio (junho a setembro de 2021 e de dezembro de 2021 a maio de 2022).

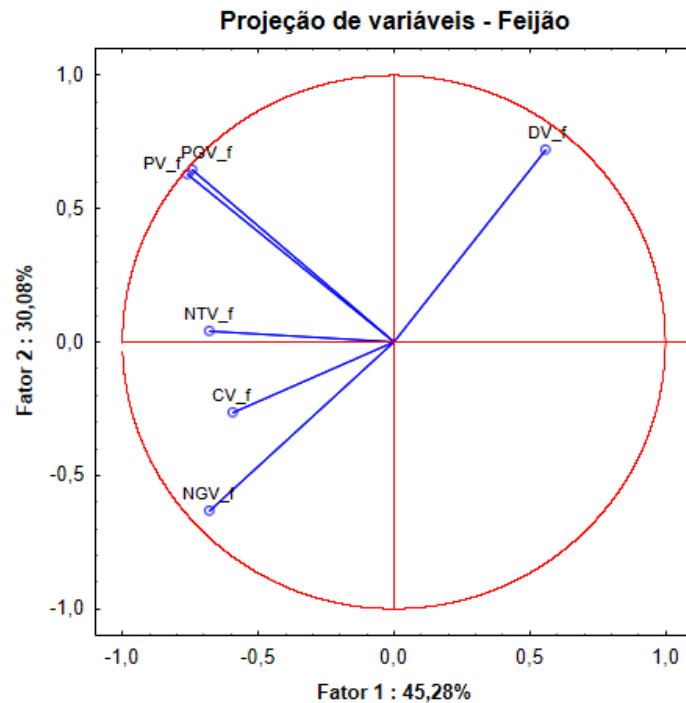
Variáveis	NTV	CV	DV	NGV	PV	PGV
NTV	1,00					
CV	0,04	1,00				
DV	<b>-0,44</b>	-0,33	1,00			
NGV	0,33	<b>0,54</b>	<b>-0,75</b>	1,00		
PV	<b>0,46</b>	0,29	0,03	0,15	1,00	
PGV	<b>0,43</b>	0,29	0,03	0,11	<b>0,99</b>	1,00

Os valores em destaque são significativos ao nível de 5 % de probabilidade. NTV: número total de vagens; CV: comprimento da vagem (cm); DV: diâmetro da vagem (mm); NGV: número de grãos por vagem; PV: peso da vagem (t/ha); PG: peso dos grãos da vagem (t/ha).

Por meio da análise dos componentes principais, foi possível extrair duas componentes, a primeira (CP1) responsável pela explicação de 45,28% da variabilidade dos dados, e a segunda (CP2) responsável por explicar 30,08% da variação, alcançando, portanto, 75,36% da variância total dos dados (Figura V). A menor explicação da variabilidade dos dados para o feijão-caupi indica que as cultivares possuem um desempenho semelhante nas condições em que foram cultivadas.

As variáveis de maior peso ( $>0,65$ ) dentro da CP1 foram o peso da vagem (PV) e o peso dos grãos da vagem (PGV). Essas variáveis foram as que apresentaram a maior variabilidade dentro do banco de dados, sendo as mais importantes para separar os conjuntos de tratamentos com maiores diferenças. Na CP2 a única variável significativa foi o número de grãos por vagem (NGV).

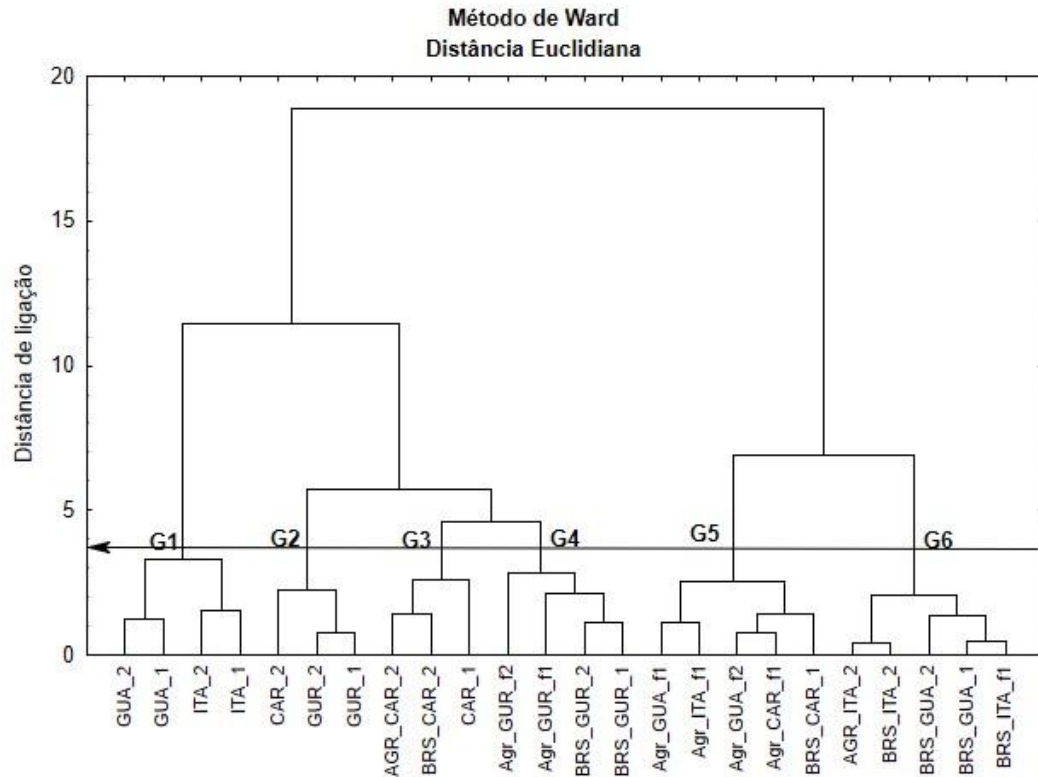
**Figura IV.** Variáveis (A) e tratamentos (B), respectivamente. NTV: número total de vagens; CV: comprimento da vagem (cm); DV: diâmetro da vagem (mm); NGV: número de grãos por vagem; PV: peso da vagem ( $\text{kg há}^{-1}$ ); PG: peso dos grãos da vagem ( $\text{kg há}^{-1}$ ) de feijão-caupi (BRS Carijó, BRS Guariba, BRS Gurguéia e BRS Itaim) cultivadas em sistema consorciado e monocultivo, em duas épocas de plantio (junho a setembro de 2021 e de dezembro de 2021 a maio de 2022).



NTV: número total de vagens; CV: comprimento da vagem (cm); DV: diâmetro da vagem (mm); NGV: número de grãos por vagem; PV: peso da vagem (t/ha); PG: peso dos grãos da vagem (t/ha).

Após a análise dos componentes principais ACP, realizou-se a análise de agrupamento pelo método hierárquico, retirando as variáveis com menor carga fatorial, obtendo-se a formação de seis grupos específicos: G1, G2, G3, G4, G5 e G6 (Figura VI). Os grupos apresentaram como padrão de separação os sistemas de cultivo (Figura VI).

**Figura V:** Dendrograma mostrando a hierarquia de grupos entre variáveis de feijão-caupi (BRS Carijó, BRS Guariba, BRS Gurguéia e BRS Itaim) cultivadas em sistema consorciado e monocultivo, em duas épocas de plantio (junho a setembro de 2021 e de dezembro de 2021 a maio de 2022), resultante da análise de agrupamento por método hierárquico.



Agri: Agri-002E; BRS: BRS 716; CAR: BRS Carijó; GUA: BRS Guariba, GUR: BRS Gurguéia; ITA: BRS Itaim; 1 e f1: época 1; 2 e f2: época 2.

A partir da análise multivariada com teste Wilks para comparação dos grupos formados, foi possível confirmar a diferença entre os grupos, sendo que a maioria das cultivares não foram afetadas pelas épocas de plantio, e sim, pelo sistema de cultivo (Tabela V). Observa-se que os grupos 1 e 2 foram formados pelas cultivares no monocultivo, independentes da época de cultivo. Os grupos 4, 5 e 6 seguiram o padrão de agrupamento em função do consórcio, independente da época de cultivo.

As cultivares BRS Guariba e BRS Itaim apresentaram comportamento semelhante, se agrupando tanto no grupo 1, quanto no grupo 6. Também foi possível verificar, a partir da comparação dos grupos, que o grupo 3 constituído pela cultivar BRS Carijó no consórcio foi o que apresentou o maior peso de grãos. Esse resultado pode ter sido influenciado pela variável biométrica comprimento da vagem (CV), a qual obteve a maior média entre aos grupos.

O grupo 4 constituído pela cultivar BRS Gurguéia diferiu dos demais, por obter o maior número de grãos por vagem (NGV). O grupo 5 formado em sua maioria pelo consórcio

do sorgo Agri-002E com as cultivares Guariba, Gurguéia e Itaim na época 1, apresentou menor produção de grãos (PGV). Esse resultado pode ter sido influenciado pelo número total de vagens (NTV) com a menor média entre os grupos.

O grupo 6 constituído pelo consórcio de Agri-002E com as cultivares Guariba e Itaim, independente da época de cultivo, apresentou menor produção de grãos em relação ao grupo 5, composto pelo consórcio da BRS 716 com as cultivares Carijó, Guariba e Itaim. Isso leva a inferir que quando consorciadas a associação entre as cultivares de feijão-caupi com a cultivar BRS 716 é mais vantajosa em relação a consorciação com a cultivar Agri-002E.

**Tabela V.** Médias seguidas do desvio padrão dos agrupamentos formados na análise multivariada entre as variáveis de feijão-caupi, plantado em sistema consorciado e monocultivo, em duas épocas de plantio (junho a setembro de 2021 e de dezembro de 2021 a maio de 2022), resultante da análise de agrupamento por método hierárquico.

Variáveis	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4		Grupo 5		Grupo 6	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
<b>NTV</b>	12,63	1,40	12,17	1,69	11,40	2,61	13,22	2,85	8,81	1,11	11,13	2,21
<b>CV</b>	16,33	1,28	16,80	0,76	17,33	1,11	16,44	0,52	16,03	0,94	15,36	1,14
<b>DV</b>	7,66	0,32	6,55	0,25	6,65	0,21	6,21	0,34	7,48	0,56	7,28	0,42
<b>NGV</b>	8,81	1,28	12,63	2,46	10,04	1,16	14,22	0,42	8,41	1,02	8,21	0,87
<b>PV</b>	3217,40	434,79	2887,16	499,01	1579,53	377,50	1405,92	309,58	782,39	226,43	1129,87	340,37
<b>PGV</b>	2554,12	326,63	2312,60	520,13	1319,06	353,97	1072,75	269,73	662,47	193,76	910,08	242,09
<b>Teste F</b>	<b>G1xG2</b>	<b>G1xG3</b>	<b>G1xG4</b>	<b>G1xG5</b>	<b>G1xG6</b>	<b>G2xG3</b>	<b>G2xG4</b>	<b>G2xG5</b>	<b>G2xG6</b>	<b>G3xG4</b>	<b>G3xG5</b>	<b>G3xG6</b>
	78,52*	77,20*	876,29**	817,51**	2858,71**	49,96*	461,23*	11604,27**	10469,53**	4867,24**	123,99**	5566,20**
	<b>G4xG5</b>	<b>G4xG6</b>	<b>G5xG6</b>									
	1122,30**	2625,23**	1031,21**									

DV: desvio padrão, NTV: número total de vagens; CV: comprimento da vagem (cm); DV: diâmetro da vagem (mm); NGV: número de grãos por vagem; PV: peso da vagem (t/ha); PG: peso dos grãos da vagem (t/ha) e \*\* 1% e \* 5% de significância, respectivamente.

A fase de floração das cultivares de feijão-caupi analisadas apresentou temperaturas diárias entre 18,38 - 32,58 °C e 20,22 - 31,82 °C, nas épocas 1 e 2, respectivamente. Sendo assim, como as temperaturas não apresentaram grande variação durante a fase de floração e foram inferiores a 33 °C, os parâmetros produtivos das cultivares BRS Carijó, BRS Guariba, BRS Gurguéia e BRS Itaim, não diferiram entre si (Tabela I).

### Uso eficiente da terra (UET)

Por meio do uso eficiente da terra observa-se que no plantio em junho (época 1), o consórcio entre as cultivares de feijão-caupi BRS Carijó com o sorgo BRS 716 e entre Gurguéia e o Agri-002E com índice (1,00) mostrou que não houve vantagens do consórcio em relação ao monocultivo. No entanto, no plantio em dezembro (época 2), o consórcio entre as cultivares BRS Gurguéia, BRS Guariba e BRS Carijó com o sorgo BRS 716, alcançaram índices de (1,03), (1,02) e (1,17) respectivamente, mostrando que o consórcio foi vantajoso em relação ao monocultivo. Para os valores abaixo de 1 o monocultivo foi o sistema mais vantajoso.

**Tabela VI.** Uso eficiente da terra (UET) entre as cultivares de sorgo biomassa e feijão-caupi em sistema consorciado e monocultivo em duas épocas de plantio: época 1 época 2.

Época	Tratamentos	UET
1	BRS 716 + BRS Itaim	0,79
	BRS 716 + BRS Gurguéia	0,97
	BRS 716 + BRS Guariba	0,86
	BRS 716 + BRS Carijó	<b>1,00</b>
	Agri-002E + BRS Itaim	0,72
	Agri-002E + BRS Gurguéia	<b>1,00</b>
	Agri-002E + BRS Guariba	0,59
	Agri-002E + BRS Carijó	0,88
2	BRS 716 + BRS Itaim	0,97
	BRS 716 + BRS Gurguéia	<b>1,03</b>
	BRS 716 + BRS Guariba	<b>1,02</b>
	BRS 716 + BRS Carijó	<b>1,17</b>
	Agri-002E + BRS Itaim	0,89
	Agri-002E + BRS Gurguéia	0,81
	Agri-002E + BRS Guariba	0,75
	Agri-002E + BRS Carijó	0,94

UET: Uso eficiente da terra. Valores em destaque são iguais ou maiores que 1,0.

## DISCUSSÃO

A correlação positiva entre duas variáveis pode promover ganhos por meio da seleção de materiais na outra associada (Oliveira et al. 2021). Como observado para o sorgo biomassa, a forte correlação positiva entre os componentes DC-MFC, DC-MFT, MFC-MFT e MSC-MST. Desta maneira verifica-se que a variável diâmetro do colmo foi de grande relevância no processo de produção das cultivares, posto que, aumentos nesta variável também se refletiam em outras variáveis. Nesse caso, o DC pode ser uma variável importante no desenvolvimento de modelos para estimar as produtividades dessas cultivares de sorgo biomassa.

Lima et al. (2022), ao selecionarem cultivares de sorgo forrageiro com base nas características morfológicas, encontraram correlações fenotípicas fortes e positivas entre o peso da planta com peso do colmo (0,99), peso da planta com o diâmetro do colmo (0,92) e massa de forragem (0,78). O diâmetro do colmo em plantas de sorgo pode influenciar de forma direta e proporcional o peso da planta e, conseqüentemente, a produção da massa de forragem (Castro 2014). Dessa forma, constata-se que o diâmetro do colmo é uma variável importante para a produção de massa fresca e seca nas plantas de sorgo, de forma que o colmo representa um importante órgão de armazenamento de substâncias de reservas nas plantas e que quanto maior for seu diâmetro maior será sua capacidade de armazenamento de fotossimilados (Gimenes et al. 2008).

Outra correlação positiva e forte encontrada entre as variáveis do sorgo biomassa foi a altura e a massa fresca do colmo, e altura e massa fresca total. A alta e forte correlação positiva da altura da planta com a massa fresca permite que os genótipos mais altos produzam maior volume de forragem por hectare (Paziani et al. 2019). A altura de planta também se mostrou uma característica importante, por se correlacionar positivamente com as características de produção de matéria fresca e seca, podendo ser utilizada como um indicador de produção de matéria seca em híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo (Wight et al. 2012).

Além da altura, o número de folhas também atua diretamente sobre a produtividade do sorgo, uma vez que a planta depende das folhas, atuando como principal órgão fotossintético. Assim, a taxa de crescimento da planta depende tanto da taxa de expansão da área foliar, como da taxa de fotossíntese por unidade de área foliar (Magalhães et al. 2021).

Com relação à época de plantio, por meio da média entre os grupos formados, constatou-se que no plantio em dezembro, as cultivares de sorgo biomassa Agri-002E e BRS 716 alcançaram a maior produção de biomassa. Esse fato se deu em decorrência das cultivares

serem sensíveis ao fotoperíodo (Tabosa et al. 2021). Cultivares de sorgo sensíveis ao fotoperíodo têm seu florescimento induzido em dias com menos de 12 horas e vinte minutos (Parrella et al. 2010). Essa característica é importante, pois permite que a planta desenvolva seu máximo potencial de acúmulo de biomassa quando cultivada na época de dias longos (Primavera/Verão) (Meki et al. 2017). Cultivares de sorgo sacarino na região do sudoeste goiano também apresentaram maior potencial produtivo nos meses de outubro e dezembro devido ao efeito do fotoperíodo (Cavalcante et al. 2017).

Além do fotoperíodo, a temperatura também afeta diretamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Para o sorgo a temperatura ideal para o seu desenvolvimento varia entre 21 e 38 °C (Fernandes 2013). O plantio do sorgo biomassa em junho coincidiu com temperaturas mínimas entre 15, °C a 23,7 °C, tendo sido inferiores a 20 °C durante 56 dias (Figura I). Isso pode ter influenciado a redução da produção de biomassa das cultivares Agri-002E e a BRS 716 (Tabela 6). Nascimento (2022), ao avaliar o desempenho de cultivares de sorgo sob diferentes regimes de temperatura, observou que os parâmetros biométricos e produtivos das cultivares Agri-002E e a BRS 716 foram menores em temperaturas entre 20 a 33 °C, quando comparado com plantas mantidas em regime de temperatura de 24,8 a 39,3 °C. Em condições de alta temperatura e luminosidade, a eficiência fotossintética em plantas de metabolismo C4 aumenta, promovendo maiores taxas de crescimento e produção de biomassa (Lambers et al. 2008).

Dessa forma, o maior acúmulo de biomassa em híbridos de sorgo pode ser explicado pela escolha da época de cultivo, o tipo de material genético e o local de plantio (Meki et al. 2017), que interferem diretamente no período vegetativo, maior índice de área foliar, maior interceptação e aproveitamento eficiente de radiação (planta C4) (Olson et al. 2012). Assim, a época de semeadura se destaca para a produção de biomassa, pois está ligada ao desenvolvimento vegetativo da planta de sorgo. Do ponto de vista econômico, maiores ganhos de biomassa sempre serão desejáveis no cultivo desse sorgo, logo, o manejo deve ser feito de tal forma que, as plantas continuem a crescer vegetativamente por períodos mais longos antes da colheita (Barbosa et al. 2022).

Para a cultura do feijão-caupi, a produtividade de grãos está altamente correlacionada com os componentes da produção, ou seja, número de vagens por planta, número de grãos por planta e peso de sementes (Costa; Zimmermann 1988). Dependendo das condições ambientais, alguns componentes da produção podem aumentar e outros diminuir, alterando a manutenção da estabilidade produtiva (Casquero et al. 2006). Para o desempenho produtivo de cultivares de feijão-caupi de diferentes portes, o número de vagens por área foi o caráter



mais correlacionado com o rendimento de grãos, independentemente do tipo de porte da planta. As condições ambientais, incluindo temperatura e disponibilidade hídrica, afetam o número de vagens produzidas, pois são elementos determinantes para a viabilidade polínica e pela proporção de flores que se desenvolvem em vagens maduras (Li & Yang. 2014; Barros et al. 2023). Neste estudo as plantas de feijão-caupi não foram afetadas por temperaturas acima de 33 °C, não tendo comprometimento fisiológico e metabólico.

Para o desempenho produtivo das cultivares analisadas, o comprimento da vagem também se mostrou um caráter determinante. A forte e positiva correlação entre o comprimento da vagem e o número de grãos por vagem permite inferir que a seleção para o aumento do comprimento das vagens leva ao aumento do número de sementes por vagem e, conseqüentemente, ao aumento da produção (Públio Júnior et al. 2018; Meira et al. 2020).

Com relação à temperatura para o potencial desempenho do feijão-caupi, a fase de floração é um período crítico, pois afeta a produção final da vagem e, conseqüentemente, o rendimento (Barros et al. 2023). Os autores observaram que temperaturas superiores a 33 °C durante a floração do feijão-caupi interferem negativamente na produção do grão devido ao impacto direto na viabilidade dos grãos de pólen e no abortamento das flores. Portanto, neste trabalho a temperatura não teve efeito negativo sobre a produção do feijão-caupi, uma vez que, não atingiu o limite máximo suportável na fase reprodutiva.

A eficiência do sistema de produção depende do efeito sinérgico das espécies escolhidas para o consórcio, uma vez que, quando agrupadas no campo, as plantas competem entre si pelos fatores de crescimento e produção (luz, CO<sub>2</sub>, água e nutrientes minerais), o que conseqüentemente pode interferir em seu rendimento (Távora et al. 2007).

Como os resultados encontrados neste trabalho, o consórcio sorgo biomassa e feijão-caupi apresentou vantagem sobre o monocultivo para as combinações da cultivar de sorgo BRS 716 com as cultivares de feijão-caupi BRS Carijó, BRS, Guariba e BRS Gurguéia, segundo o uso eficiente da terra (UET), no plantio realizado em dezembro. Índices de UET de 1,98, 1,35 e de 1,32 foram observados para consórcios de milho, feijão e mandioca (Araújo et al. 2017), feijão-caupi (25%) e sorgo (75%) (Távora et al. 2007) e sorgo (50%) e feijão-decorda (50%) (Bezerra et al. 2007). Assim, para que haja rendimento satisfatório e maior resiliência nos cultivos consorciados é necessário considerar a escolha de espécies que se complementam, o arranjo das plantas, o espaçamento e a densidade populacional, para que a cultura persista no sistema produtivo e alcance seu potencial produtivo (Oliveira Filho et al. 2016). Dessa forma, o uso de consórcios pode contribuir para os sistemas agrícolas

sustentáveis, com aumento na produtividade e na estabilidade do rendimento das culturas, otimizando a utilização dos recursos naturais (Angelotti et al. 2022).

Pela análise multivariada, nota-se que houve um melhor desempenho dos cultivos isolados, tanto para sorgo quanto para feijão-caupi. Contudo, quando a discussão se encaminha para o uso eficiente da terra UET parece haver um viés de análise, mesmo com a maior parte dos consórcios não tendo desempenho maior que 1.

## CONCLUSÃO

O desempenho produtivo das cultivares de sorgo biomassa Agri-002E e BRS 716 foi maior no plantio realizado em dezembro. A produtividade de grãos de feijão-caupi não foi influenciada pelas épocas de plantio. O consórcio entre a cultivar de sorgo biomassa BRS 716 e as cultivares de feijão-caupi BRS Gurguéia, BRS Guariba e BRS Carijó mostrou-se vantajoso em relação ao monocultivo quando plantado na época mais quente (dezembro).

## AGRADECIMENTOS

Este estudo foi parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código Financeiro 001 e 88887.616175/2021-00.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE JAA, SEDIYAMA T, ALVES JMA, SILVA AA, UCHOA SCP. 2012. Cultivo de mandioca e feijão em sistemas consorciados realizado em Coimbra, Minas Gerais, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, p.532-538.

ANGELOTTI F, GIONGO V. 2019. Ações de mitigação e adaptação frente às mudanças climáticas. IN: MELO, R. F de.; VOLTOLINI, T. V. (Org.). **Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido**. Petrolina-PE: Embrapa Semiárido, p. 445-467.

ANGELOTTI F, COSTA ND, VOLTOLINI TV, SIMOES W L. 2021. **Aumento da eficiência produtiva dos cultivos frente às mudanças climáticas**. In: SOTTA ED, SAMPAIO FG, MARZALL K, SILVA WG. da. (Org.). Estratégias de adaptação às mudanças do clima dos sistemas agropecuários brasileiros. 1ed. Brasília: MAPA, p. 46-47.

ANGELOTTI F, OLIVEIRA AR de, GIONGO V, BARROS JRA, GUIMARÃES MJM. 2022. **Sustainable agriculture as an adaptation measure for Araripe Plaster Pole**. In: SABOURIN E, OLIVEIRA LMR, GOULET F, MARTINS ES. (Org.). Public policies for adapting agriculture to climate change in semi-arid Northeast Brazil, Rio de Janeiro: E-papers, Cap. 4, p. 61-76 il.

ARAÚJO AK, ARAÚJO FILHO JA de, MARANHÃO SR. 2017. Consórcios de milho, feijão e mandioca em presença de bagana de carnaúba em um argissolo no litoral norte do Ceará sob condições de sequeiro. **Essentia**, v. 18, n. 1, p. 2-23.

BALBINO LC, CORDEIRO LAM, MARTÍNEZ BG. 2011. Contribuições dos sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) para uma agricultura de baixa emissão de carbono. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 6, p. 1163-1175.

BARBOSA MAM, BARROS AF de, PEREIRA ES dos, PARRELLA RAC da, PIMENTEL LD. 2022. Sorgo para bioenergia. In: COLLICCHIO, E.; ROCHA, H. R. da (Org.). Agricultura e mudanças do clima no estado do Tocantins: vulnerabilidades, projeções e desenvolvimento, Palmas, TO- EdUFT, Cap. 18, p. 371-391.

BARROS JRA, GUIMARÃES MJM, SIMOES WL, MELO NF de, ANGELOTTI F. 2023. Temperature: a major climatic determinant of cowpea production. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 45, 56812.

BEZERRA AAC de, NEVES AC das, NETO FA de, SILVA JÚNIOR JV da. 2014. Morfofisiologia e produção de feijão-caupi, cultivar BRS Nova era, em função da densidade de plantas. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 4, p. 135-141.

BEZERRA APA, PITOMBEIRA JB, TÁVORA FJAF, VIDAL NETO FCH das. 2007. Rendimento, componentes da produção e uso eficiente da terra nos consórcios sorgo x feijão-de-corda e sorgo x milho. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, n.1, p.104-108, 2007.

BOMFIM-SILVA EM, SOARES DC, SILVA PCL, DAMASCENO APA, SILVA TJA, SOUZA HHF. 2018. Initial development of cowpea bean fertilized with natural phosphate in the brazilian cerrado soil. **American Journal of Plant Science**, v. 9, n.7, p. 1381-1390.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes**. 2009. Brasília, DF: MAPA/ACS.

CARDOSO MJ, MELO FB de, RIBEIRO VQ. 2018. Population density on cowpea cultivars with different growth habits in the matopiba region. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 235 – 239.

CARDOSO MJ, RIBEIRO VQ, MELO FB de, BASTOS EA, SOBRINHO CA. 2021. **Rendimento de grãos de duas linhagens elites de feijão-caupi em relação ao arranjo de plantas em Teresina**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 17 p.

CARVALHO FIF, LORENCETTI C, BENIN G. 2004. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária - UFPel, 141 p.

CARVALHO LC, BUENO RCOF de, CARVALHO MM, FAVORETO AL, GODOY AF. 2013. Cana-de-açúcar e álcool combustível: histórico, sustentabilidade e segurança energética. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, p. 530-543.

CASTRO FMR. 2014. **Potencial Agrônômico e energético de híbridos de sorgo Biomassa**. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Lavras. Programa de Pós-graduação em agronomia, 80p.

CASQUERO PA ET AL. 2006. Performance of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces from Spain in the Atlantic and Mediterranean environments. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 53, n. 05, p. 1021-1032.

CAVALCANTI FJA ET AL. 2008. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco**. Recife: IPA, 212 p.

CAVALCANTE TJ, GIONGO PR, BARBOSA KP, JÚNIOR LFN, RODRIGUES AA, VITAL RG. 2017. Características agrônômicas de cultivares de sorgo sacarino em diferentes épocas na região do Sudoeste de Goiás, Brasil. **Revista ESPACIOS**. v. 38 n. 46.

COSTA JCG, ZIMMERMANN MJO. 1988. **Melhoramento genético**. In: ZIMMERMANN MJO, ROCHA M, YAMADA T. (Ed.). A cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade. Potafós, p. 229-245.

DEVIDE ACP, RIBEIRO RLD, VALLE TL, ALMEIDA DL, CASTRO CM, FELTRAN JC. 2009. Produtividade de raízes de mandioca consorciada com milho e caupi em sistema orgânico. **Bragantia**, v. 68, n. 01, p. 145-153.

DIAS KOG ET AL. 2018. Improving accuracies of genomic predictions for drought tolerance in maize by joint modeling of additive and dominance effects in multi-environment trials. **Heredity**, v. 121, n. 1, p. 24-37.

DINIZ WJS, SILVA TGF, FERREIRA JMS, SANTOS DC, MOURA MSB ARAÚJO GGL, ZOLNIER S. 2017. Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 52,724–733.

DO VALE JC, BERTINI C, BORÉM A. 2017. *Feijão-caupi: do plantio à colheita*. Editora UFV, Viçosa, Brasil.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. 2018. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 356 p.

FERNANDES PG. 2013. **Avaliação agrônômica de dois cultivares de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) em Sete Lagoas-MG**. 89f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.

FREIRE FILHO FR, RIBEIRO VQ, ROCHA MM de, DAMASCENO-SILVA KJ, NOGUEIRA MSR do, RODRIGUES EV. 2011. **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 84 p.

FREITAS L, CASA GRANDE JC, OLIVEIRA IA, CAMPOS MCC. 2014. Análise multivariada na avaliação de atributos de solos com diferentes texturas cultivados com cana-de-açúcar. **Revista Ciências agrárias**, v. 57, n. 3, p. 224-233.

GIONGO V, ANGELOTTI F. 2022. **Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas: experiência brasileira**. 1. ed. Brasília: Embrapa, v. 1. 256p.

GIMENES MJ, VICTORIA FILHO R, PRADO EP, POGETTO MHFAD, CHRISTOVAM RS. 2008. Interferência de espécies forrageiras em consórcio com a cultura do milho. **Revista da FZVA**, v. 15, n. 2, p. 61-76.

FREITAS MH de, TARDIN FD, TODESCATTO F, SANTOS J dos, SOUZA JMS de, ROSA MAB, ANDRÉ VLS, PARRELLA RAC. 2020. **Caracterização agronômica de genótipos de sorgo com foco em produção de energia**. Embrapa Agrosilvopastoral.

HAIR JÚNIOR JF, ANDERSON, RE, TATHAM RL, BLACK WC. 2005. **Análise Multivariada de Dados**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman.

HO R. 2006. **Handbook of Univariate and Multivariate Data Analysis and Interpretation with SPSS**. Boca Raton: Chapman e Hall.

IPCC. 2021. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. International Panel on Climate Change.

JARDIM AMRF, SILVA TGF, SOUZA LSB, ARAÚJO JÚNIOR GN, ALVES HKMN, SOUZA MS, ARAÚJO GG, MOURA MSB. 2021. Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. **Journal of Arid Environments**, v.188.

LAMBERS H, CHAPIN FS, PONS TL. 2008. *Plant Physiological Ecology*, 2. ed. New York, USA: Springer.

Li, X., Yang, Y. 2014. A novel perspective on seed yield of broad bean (*Vicia faba* L.): differences resulting from pod characteristics. *Sci Rep* 4.

LIJIMA M, IZUMI Y, YULIADI E, SUNYOTO, ARDJASA WS. 2004. Cassava-based intercropping systems on Sumatra Island in Indonesia: productivity, soil erosion, and rooting zone. **Plant Production Science**. 7: p. 347-355.

LIMA BB, BISPO PCF, VITOR LGV, SILVEIRA ES, SILVA AF, OLIVEIRA GHF. 2022. Análise de rilha para seleção indireta de sorgo forrageiro com base nas características morfológicas na região do Alto Sertão Sergipano. **Revista Agri-Environmental Sciences**, v. 8.

LIMA CJGS, OLIVEIRA FA, MEDEIROS JF, OLIVEIRA MKT, JUNIOR ABA. 2007. Resposta do feijão-caupi a salinidade da água de irrigação. **Revista Verde Agroecologia Desenvolvimento Sustentável**, v.2, n.2, p.79-86.

MAGALHÃES PCC, SOUZA TC, SCHAFFERT RE. 2015. Ecofisiologia. In: **Sistema de Produção, 9ª edição: Cultivo de Sorgo**. Disponível em: <<https://www.spo.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 21 de nov. 2021.

MAGALHÃES PC, DURÃES FOM, RODRIGUES JAS. 2009. **Cultivo do sorgo: ecofisiologia**. 5.ed. Sete Lagoas: Embrapa, (Sistema de Produção, 2).

MAY A ET AL. 2015. **Sorgo biomassa para a cogeração de energia**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 7 p. (Circular Técnica, 211).

MAY A, PARRELLA RAC, DAMASCENO CMB, SIMEONE MLF. 2014. **Sorgo como matéria-prima para produção de bioenergia: etanol e cogeração**. *Sorgo: inovações tecnológicas*, v 35, n. 278, p. 73 – 81. <https://doi.org/10.1007/s11245-014-9280-5>.

MEIRA AL, SANTANA TM, AMORIM YF, SILVA JO da. MIGUEL DL, AMARAL CLF. 2020. Parâmetros genéticos na seleção de feijão-caupi sob estresse hídrico em cultivo protegido. *Acta Iguazu*, v.9, n.2, p. 81-98.

MEKI MN ET AL. 2017. Performance evaluation of biomass sorghum in Hawaii and Texas. *Industrial Crops & Products*, p. 257-266.

NASCIMENTO GSG. 2022. **Tolerância de cultivares de sorgo à alta temperatura para o Polo Gesseiro do Araripe**. Dissertação de mestrado – Universidade Estadual de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia Ambiental, 90p.

OLIVEIRA AB, MESQUITA RO, GUIMARÃES MA, NETO HSL, SILVA TM. 2017. Preparo do solo e plantio. In: DO VALE, J. C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. Feijão-caupi: do plantio à colheita. Viçosa: Ed. UFV, p 52-69.

OLIVEIRA FILHO AF, BEZERRA FTC, PITOMBEIRA JB, DUTRA AS, BARROS GL. 2016. Eficiência agronômica e biológica nos consórcios da mamoneira com feijão-caupi ou milho. *Revista Ciência Agrônômica*. v. 47, n. 4, p. 729-736.

OLIVEIRA AJ, ALMICI MS, SANTOS AAC, SILVA VP, PIRES ASC, TARDIN FD. 2021. Componentes de rendimento em genótipos de sorgo sacarino. *Research, Society and Development*. v. 10, n. 4.

OLIVEIRA MGC, OLIVEIRA LFC, WENDLAND A, GUIMARÃES CM, QUINTELA E D, BARBOSA FR, CARVALHO MCS, LOBO JUNIOR M, SILVEIRA PM. 2018. **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos**. Brasília: Embrapa Arroz e Feijão, 59 p.

OLSON SN ET AL. 2012. High biomass yield energy sorghum: developing a genetic model for C4 grass bioenergy crops. *Biofuels, Bioproducts & Biorefining*, v. 6, p. 640-655.

PARRELLA RAC, RODRIGUES JAS, TARDIN FD, DAMASCENO CMB, SCHAFFERT RE. 2010. **Desenvolvimento de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 25p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 28).

PAZIANI SDF, DUARTE AP, NUSSIO LG, FREITAS RS, GALLO PB, MATEUS GP. 2019. Correlações entre variáveis quantitativas e qualitativas de milho e de sorgo para silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 3, p. 408-416.

PESTANA MH, GAGEIRO JN. 2005. **Análise de Dados para Ciências Sociais: A complementaridade do SPSS**. 4.ed. Lisboa: Edições Sílabo.

PÚBLIO EJ, GUIMARÃES DG, PÚBLIO APPB, SOUZA UO, AMARAL CLF. 2018. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-frade. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 806–814.

REDDY SJ, AMORIM NETO MS. 1983. **Dados de precipitação, evapotranspiração potencial, radiação solar global de alguns locais e classificação climática do Nordeste do Brasil**. Petrolina: EMBRAPA/CPATSA, 280 p.

SAMSON R, MANI S, BODDEY R, SOKHANSANJ S, QUESADA D, URQUIAGA S, REIS V, HO LEM C. 2005. The potential of C4 perennial grasses for developing a global BIOHEAT industry. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 24, p. 461-495.

SANTOS FC, RESENDE AV, COELHO AM. 2012. **Exigências nutricionais e adubação**. In: PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. (Ed.).

SANTOS JMR dos, OLIVEIRA AR de, MELO RF de, SANTOS MLS. 2017. Viabilidade do cultivo consorciado de sorgo sacarino e feijão-caupi em barragem subterrânea em regiões Semiáridas. **Intellecto**, v. 2 n. 1-2.

SILVA AC, MORAIS OM, SANTOS JL, D'ARÊDE LO, SILVA PB. 2014. Componentes de produção, produtividade e qualidade de sementes de feijão-caupi em Vitória da Conquista, Bahia. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 8, n. 3, p. 327-335.

SILVA KJD, CARVALHO LCB, ROCHA MM, SOUSA MB de, PIRES CJ de, SOUSA CMB de, SILVA JDL da. 2011. Correlações fenotípicas em populações F2 para caracteres relacionados à produtividade em feijão-caupi. Embrapa.

SILVA WC, MOURA JG de, BRITO LLM de, NICOLAU FEA de, CAMARA FT da. 2014. Produtividade de feijão-caupi submetido a diferentes manejos do solo e níveis de adubação mineral. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 2459–2467.

TABOSA JN ET AL. 2021. Melhoramento genético do sorgo para o semiárido brasileiro. In: MENEZES, C. B. de. (Org.). **Melhoramento genético de sorgo**. Brasília, DF: Embrapa, p. 293-340.

TÁVORA FJAF, SILVA CSA, BLEICHER E. 2007. Sistemas de consórcio do milho, sorgo e feijão-caupi em séries de substituição. **Revista Brasileira Agrociência**, v.13, n.3, p.311-317.

WIGHT JP, HONS FM, STORLIEN JO, PROVIN TL. 2012. Management effects on bioenergy sorghum growth, yield and nutrient uptake. **Biomass and Bioenergy**, v. 46, p. 593-604.

ZHANG F, SHEN J, LIL, LIU X. 2004. An overview of rhizosphere processes related with plant nutrition in major cropping systems in China. **Plant and Soil**, p. 89-99.

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**, p.135-143.



## ANEXO

A formatação do Capítulo 2 seguiu as normas da Revista escolhida para submissão do artigo: Anais da Academia Brasileira de Ciências.