



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO SOLO**

**ELIZIO SAMPAIO DA SILVA**

**SISTEMA CONSORCIADO E ADUBAÇÃO VERDE COMO PRÁTICAS  
CONSERVACIONISTAS PARA PRODUÇÃO DE MORINGA**

**FORTALEZA**

**2025**

ELIZIO SAMPAIO DA SILVA

SISTEMA CONSORCIADO E ADUBAÇÃO VERDE COMO PRÁTICAS  
CONSERVACIONISTAS PARA PRODUÇÃO DE MORINGA

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências do Solo. Área de concentração: Manejo do Solo e da Água.

Orientadora: Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa.

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- S579s Silva, Elizio Sampaio da.  
Sistema consorciado e adubação verde como práticas conservacionistas para produção de moringa. :  
Sistema consorciado. / Elizio Sampaio da Silva. – 2025.  
97 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-  
Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2025.  
Orientação: Prof. Dr. Elizio Sampaio da Silva.
1. Oleaginosa. 2. Leguminosas adubadoras. 3. Qualidade do solo. 4. Bioeconomia. I. Título.  
CDD 631.4
-

ELIZIO SAMPAIO DA SILVA

SISTEMA CONSORCIADO E ADUBAÇÃO VERDE COMO PRÁTICAS  
CONSERVACIONISTAS PARA PRODUÇÃO DE MORINGA

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo. Área de concentração: Manejo do Solo e da Água.

Orientadora: Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa.

Aprovada em: 21/07/2025 .

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Julius Blum (Membro)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Helon Hebano de Freitas Sousa (Membro)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. José de Souza Oliveira Filho (Membro)  
Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA)

---

Dra. Rafaela Batista Magalhães (Membro)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus,  
Ao meu pai Eliezio (*in memoriam*) que sempre admirou e apoiou meu esforço e dedicação aos estudos,  
Aos meus avós (*in memoriam*) por todo carinho e incentivo na minha trajetória.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por manter minha fé, saúde e energia firmes para a realização dos trabalhos e estudos do doutorado.

Incondicional agradecimento à minha esposa Lindalva e aos meus filhos Cícero e Isabel, por me apoiarem e compreenderem todo o tempo que foi dedicado aos estudos, pelo amor e renúncias que transbordaram em todos os momentos de construção desse conhecimento.

À minha mãe Ângela, pelo apoio e orientação em toda a minha caminhada da vida e por todo o amor.

Agradecimento especial à Professora Mirian, por aceitar o desafio em orientar um aluno proveniente da iniciativa privada, compreendendo todas as mudanças na minha trajetória profissional e pessoal, tornando os desafios mais compatíveis a serem enfrentados, transmitindo todo seu conhecimento com paciência e dedicação incomparável.

À Empresa Renda Florestal, por permitir a implantação e manutenção do experimento de campo.

À amiga Dra. Rafaela Batista, por ajudar na condução das análises laboratoriais, tirar dúvidas nos processos de construção da tese e pela amizade construída.

Ao Prof. Renato Innecco por todos os ensinamentos acadêmicos e amizade. Aos professores Julius, Helon, José Filho e Tadeu pela grande contribuição com o desenvolvimento dos estudos.

À Deyse Maia, por toda ajuda nas análises laboratoriais, ensinamentos dos procedimentos e auxílio na condução dos trabalhos no Laboratório de Manejo do Solo.

Aos bolsistas Mário, João Felipe e Iris por colaborarem durante a execução dos trabalhos no laboratório e em campo.

Aos professores e funcionários do Departamento de Ciência do Solo, por todo o conhecimento repassado e por toda dedicação.

À Universidade Federal do Ceará por conceder essa oportunidade única de qualificação profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A todos que de alguma forma colaboraram e incentivaram a realização deste trabalho.

## RESUMO

A moringa (*Moringa oleifera* Lam.) é considerada uma cultura de subsistência presente em áreas com diferentes tipos de solo, cultivada em regiões com população de baixa renda. Com diversas finalidades, adaptada às condições semiáridas, pode ser consorciada para aumentar a renda dos agricultores, alternativa na bioeconomia. É preciso definir a melhor estratégia de consórcio com leguminosas adubadoras, visando maior sustentabilidade na produção da *M. oleifera* em solo arenoso. Supõe-se que o consórcio da moringa com espécie adaptada ao déficit hídrico e que seja submetida à poda parcial visando a adubação verde, constitui prática de manejo para a melhoria na fertilidade do solo e a geração de renda aos agricultores. O estudo foi conduzido em Beberibe (CE), em regime de sequeiro. O delineamento experimental foi em blocos aleatorizados, com parcelas subdivididas e quatro repetições. Nas parcelas foram avaliados 2 tipos de podas das plantas consorciadas (50% e 100% do total de plantas) e nas subparcelas avaliaram-se 2 espécies consorciadas (feijão guandu e leucena), além da vegetação espontânea. Avaliou-se a produção de biomassa das espécies consorciadas e da vegetação espontânea, determinando o acúmulo de nutrientes e sódio. Avaliaram-se atributos químicos do solo após realização das podas, bem como a produção do óleo de moringa, de grãos de guandu e da biomassa da leucena. Investigou-se a viabilidade econômica do sistema consorciado. Foi realizado teste de normalidade com transformação do que não apresentou distribuição normal, assim como a análise de variância e, mediante diferenças significativas, realizou-se o teste de Tukey para comparação de médias. Nas análises de acúmulos de nutrientes para a biomassa, o guandu produziu mais matéria seca e acumulou mais macronutrientes e micronutrientes, sendo que a vegetação nativa superou em acúmulo de zinco. Na camada de 0 a 20 cm de profundidade do solo, para o manejo de 50% de plantas podadas, o guandu proporcionou melhores resultados de P, Na, CO e Ca, CTC, soma de bases e V% sendo que a vegetação espontânea resultou em maior teor de Cu mediante 100% de plantas podadas. Na camada de 20 a 40 cm para a vegetação espontânea houve maiores valores para teor de Ca, CTC, soma de bases e V%, para o guandu foram a acidez do solo e Mn que se destacaram. Para o desenvolvimento das raízes na área de influência das plantas consorciadas, a área superficial radicular na vegetação espontânea foi superior a 80 cm de distância da moringa. Para a área com guandu nas distâncias de 20 e 60 cm houve maior comprimento total e peso da raiz, respectivamente. O teor de N no solo foi maior no consórcio com guandu distante 20 cm da moringa. Considerando a produção de óleo da moringa, houve maior rentabilidade no consórcio da moringa com a leucena com 100% de plantas podadas.

**Palavras chaves:** oleaginosa; leguminosas adubadoras; qualidade do solo; bioeconomia.

## ABSTRACT

Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) is considered a subsistence crop found in areas with different soil types, cultivated in regions with low-income populations. With multiple purposes and adapted to semiarid conditions, it can be intercropped to increase farmers' income, serving as an alternative in the bioeconomy. It is necessary to define the best intercropping strategy with green manure legumes, aiming at greater sustainability in *M. oleifera* production on sandy soil. It is assumed that intercropping moringa with a species adapted to water deficit, and subjected to partial pruning for green manure purposes, constitutes a management practice to improve soil fertility and generate income for farmers. The study was carried out in Beberibe (CE), under rainfed conditions. The experimental design was a randomized block design with split plots and four replications. In the plots, two types of pruning of the intercropped plants (50% and 100% of the total plants) were evaluated, and in the subplots, two intercropped species (pigeon pea and leucaena) were assessed, along with spontaneous vegetation. Biomass production of the intercropped species and spontaneous vegetation was evaluated, determining nutrient and sodium accumulation. Soil chemical attributes were assessed after pruning, as well as moringa oil yield, pigeon pea grain production, and leucaena biomass. The economic viability of the intercropping system was investigated. A normality test was conducted, with transformation applied to data not showing normal distribution, followed by analysis of variance, and when significant differences were found, Tukey's test was used for mean comparisons. In nutrient accumulation analyses for biomass, pigeon pea produced more dry matter and accumulated more macro- and micronutrients, with native vegetation surpassing it in zinc accumulation. In the 0–20 cm soil layer, for 50% pruned plants, pigeon pea provided better results for P, Na, CO, and Ca, CEC, sum of bases, and V%, while spontaneous vegetation resulted in higher Cu content under 100% pruned plants. In the 20–40 cm soil layer, spontaneous vegetation showed higher values for Ca content, CEC, sum of bases, and V%, while in pigeon pea, soil acidity and Mn stood out. Regarding root development in the influence area of intercropped plants, root surface area in spontaneous vegetation was greater beyond 80 cm from moringa. In the pigeon pea area, at 20 and 60 cm distances, greater total root length and root weight were observed, respectively. Soil N content was higher in the pigeon pea intercrop at 20 cm from moringa. Considering moringa oil production, greater profitability was observed in the moringa–leucaena intercrop with 100% pruned plants.

**Keywords:** oilseed; green manure legumes; soil quality; bioeconomy.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização do Estado do Ceará no mapa do Brasil (A) e do município de Beberibe no mapa do Estado do Ceará (B) onde foi realizado o presente estudo. Imagem de satélite na Fazenda Moringa Brasil situando a área de instalação do experimento (C). Foto aérea da área (D) cultivada com <i>M. oleifera</i> na Fazenda Moringa Brasil e que foi utilizada para a realização deste estudo.....	29
Figura 2 - Croqui da área experimental indicando o posicionamento dos blocos, dos tratamentos nas parcelas (50 e 100% de poda) e nas subparcelas (vegetação consorciada com a moringa).....	30
Figura 3 - Esboço esquemático de uma unidade experimental contendo <i>M. oleifera</i> (triângulo amarelo) e espécies consorciadas (linha pontilhada azul) nas parcelas experimentais. O retângulo marcado representa a área útil.....	31
Figura 4 - Precipitações mensais na área experimental nos anos 2021 (A), 2022 (B) e 2023 (C).....	33
Figura 5 - Série histórica de 30 anos (1991 a 2021) de dados climatológicas para o município de Beberibe, Ceará.....	34
Figura 6 - Controle das formigas em dezembro de 2021 e em janeiro de 2022.....	36
Figura 7 - Área gradeada em dezembro de 2021 (A) no período seco e instalação das placas (B) para separação dos blocos experimentais em Março de 2022.....	36
Figura 8 - Inoculantes utilizados nas sementes de leucena (A) e do feijão guandu (B).....	37
Figura 9 - Sementes de leucena (A) tratadas com inoculante, sementes de guandu (B), germinação das sementes de leucena (C) no berço e do guandu (D) no sulco.....	38
Figura 10 - Aplicação do fosfato natural na linha do sulco (A) de plantio do guandu e ao redor da planta de leucena (B).....	39
Figura 11 - Utilização do molde (A) como exemplo da amostragem (B) e coleta de biomassa (C).....	41
Figura 12 - Exemplo das folhas após secagem, trituração no moinho, maceradas (A) e armazenadas em sacos de papel (B).....	42
Figura 13 - Coleta do solo com a sonda (A), distâncias (B) da coleta do solo em relação à moringa, amostra do solo acondicionada em saco plástico (C) e raiz acondicionada em recipiente plástico contendo álcool (D).....	43

Figura 14 - Separação das raízes (A) e armazenamento em recipiente plástico (B) para realização das análises no escâner.....	43
Figura 15 - Disposição das raízes na bandeja (A) de acrílico no scanner e raízes prontas (B) para realização do escaneamento.....	44
Figura 16 - Exemplo de raiz escaneada proveniente do tratamento da moringa consorciada com leucena (A), guandu (B) e tratamento controle (C).....	45
Figura 17 - Vagens de moringa inteiras (A) colhidas no experimento e vagens debulhadas (B).....	47
Figura 18 – Massa seca produzida no ano de 2023 dos resíduos de poda (50% e 100% de plantas podadas) das espécies consorciadas (guandu, leucena e vegetação espontânea) com a moringa na área experimental.....	50
Figura 19 - Acúmulo de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D) e magnésio (E) na biomassa das leguminosas consorciadas com moringa (guandu e leucena) e do tratamento controle.....	52
Figura 20 - Acúmulo de cobre (A), ferro (B), manganês (C) e zinco (D) na biomassa das leguminosas consorciadas com moringa e no tratamento controle.....	57
Figura 21 - Valores médios da Área superficial -AS (A), em cm <sup>2</sup> , comprimento total - CT (B), em cm cm <sup>-3</sup> e matéria seca - MS (C), em gramas, de raízes a diferentes distâncias (20, 40, 60 e 80 cm) das plantas de <i>M. oleifera</i> .....	59
Figura 22 - Valores médios do potássio (A) e sódio (B) no solo na camada 0-20 cm após a deposição da biomassa das leguminosas e da vegetação espontânea (controle) sobre o solo.....	62
Figura 23 - Valores médios da acidez potencial (A) e do pH (B) no solo na camada 0-20 cm após resposta da intensidade de podas e consequente deposição da biomassa das leguminosas e da vegetação espontânea (controle) sobre o solo.....	63
Figura 24 - Valores médios do carbono orgânico (A) no solo, cálcio (B), fósforo (C), cobre (D), soma de bases (E), CTC (F) e percentual de saturação por base (G) na camada 0-20 cm na interação entre níveis de poda e espécies de leguminosas incluindo a vegetação espontânea.....	64
Figura 25 - Valores dos teores de cálcio (A), valores de acidez potencial (H <sup>+</sup> Al) (B), soma de bases (SB) (C), CTC (D) e saturação por bases (V%) (E) na camada de 20-40 cm do solo que recebeu resíduos de espécies de leguminosas (guandu e leucena) e da vegetação espontânea.....	69
Figura 26 - Teores de CO (A) e Mn (B) na camada de 20-40 cm do solo, em resposta à interação entre espécies consorciadas com a moringa (guandu e leucena) e a vegetação espontânea e duas intensidades de poda (50 e 100%).....	70

Figura 27 - Nitrogênio total dos solos próximo às raízes dos tratamentos das leguminosas consorciadas com a moringa e a vegetação natural, com amostras coletadas na distância de 20, 40, 60 e 80 cm da planta de moringa.....	73
Figura 28 - Produção (kg/ha) de sementes de <i>M. oleifera</i> no segundo ciclo de cultivo consorciado com leguminosas sob o efeito da poda de 50% e 100% das plantas consorciadas e da vegetação do tratamento controle.....	75
Figura 29 - Produtividade de grãos de <i>C. cajan</i> (A) e biomassa de <i>L. leucocephala</i> (kg ha <sup>-1</sup> ) (B) em resposta às intensidades de poda (50 e 100%) no segundo ano do sistema consorciado com <i>M. oleifera</i> .....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise química de caracterização do solo, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, no início da implantação do experimento no ano de 2022.....	28
Tabela 2 - Análise granulométrica, densidade (aparente e real) e classe textural do solo, na camada de 0 a 20 cm, no início da implantação do experimento no ano de 2022.....	28
Tabela 3 - Cronograma resumido da execução do experimento.....	35
Tabela 4 - Resultado das análises de óleo de moringa comparando a área cultivada em consórcio com leguminosas e sem o consórcio.....	78
Tabela 5 - Rendimento de grãos e óleo de <i>M. oleifera</i> consorciada com <i>C. cajan</i> , <i>L. leucocephala</i> e vegetação espontânea sob intensidades de poda de 50% e 100%; rendimento de grãos de <i>C. cajan</i> e produção de biomassa de <i>L. leucocephala</i> em resposta à poda de 50% e 100%; custos de produção do sistema, valor de mercado dos produtos e equilíbrio financeiro.....	82

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>A cultura da moringa .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Sistema consorciado de plantas como prática conservacionista do solo.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.1</b>	<b><i>Adubação verde como prática conservacionista do solo .....</i></b>	<b>21</b>
<b>2.3</b>	<b>Espécies com potencial de uso em sistemas consorciados e como adubos verdes .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.1</b>	<b><i>Leucena - Leucena leucocephala (Lam.) de Wit .....</i></b>	<b>22</b>
<b>2.3.2</b>	<b><i>Guandu – Cajanus cajan (L.) Millsp.....</i></b>	<b>23</b>
<b>2.4</b>	<b>Avaliação do custo de produção e das receitas.....</b>	<b>26</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1</b>	<b>Descrição da área.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2</b>	<b>Delineamento experimental.....</b>	<b>30</b>
<b>3.3</b>	<b>Instalação e condução do experimento.....</b>	<b>35</b>
<b>3.4</b>	<b>Avaliações.....</b>	<b>40</b>
<b>3.4.1</b>	<b><i>Avaliações das plantas consorciadas e da vegetação espontânea.....</i></b>	<b>40</b>
<b>3.4.2</b>	<b><i>Distribuição de raízes.....</i></b>	<b>42</b>
<b>3.4.3</b>	<b><i>Avaliações no solo.....</i></b>	<b>45</b>
<b>3.4.4</b>	<b><i>Avaliação da produção de sementes de moringa, óleo de moringa, grãos de guandu e forragem de leucena.....</i></b>	<b>46</b>
<b>3.4.5</b>	<b><i>Avaliação do custo de produção e das receitas.....</i></b>	<b>48</b>
<b>3.4.6</b>	<b><i>Análises estatísticas.....</i></b>	<b>49</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADO E DISCUSSÃO.....</b>	<b>49</b>
<b>4.1</b>	<b>Acúmulo de macronutrientes e micronutrientes na biomassa das plantas consorciadas e da vegetação espontânea e análise das raízes.....</b>	<b>49</b>
<b>4.1.1</b>	<b><i>Massa seca.....</i></b>	<b>49</b>
<b>4.1.2</b>	<b><i>Acúmulo de Macronutrientes na biomassa das espécies consorciadas.....</i></b>	<b>52</b>
<b>4.1.3</b>	<b><i>Acúmulo de Micronutrientes na biomassa das espécies consorciadas.....</i></b>	<b>56</b>
<b>4.1.4</b>	<b><i>Análises de raízes.....</i></b>	<b>58</b>
<b>4.2</b>	<b>Atributos químicos do solo após a deposição dos resíduos de poda.....</b>	<b>61</b>
<b>4.2.1</b>	<b><i>Atributos químicos na camada 0 a 20 cm após a deposição dos resíduos de poda.....</i></b>	<b>61</b>
<b>4.2.2</b>	<b><i>Atributos químicos na camada 20 a 40 cm após a deposição dos resíduos de poda.....</i></b>	<b>67</b>

4.2.3 Resultado da análise de N na profundidade do solo de 0 a 10 cm em relação à distância (20, 40, 60 e 80 cm) da moringa.....	72
4.3 Produção de sementes de moringa, óleo de moringa, grãos de guandu e forragem de leucena.....	74
4.3.1 Produção de sementes de moringa.....	74
4.3.2 Produção de óleo de moringa.....	78
4.3.3 Produção de grãos de guandu e forragem da leucena.....	79
4.4 Análise do custo de produção e das receitas.....	81
5 CONCLUSÃO.....	84
REFERÊNCIAS.....	86
ANEXO A - QUADRO RESUMO DA ANOVA DOS VALORES DE BIOMASSA E ACÚMULO DE NUTRIENTES NAS LEGUMINOSAS E NA VEGETAÇÃO ESPONTÂNEA.....	96
ANEXO B – QUADRO RESUMO DA ANOVA DOS VALORES DOS ATRIBUTOS DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 20 CM E DE 20 A 40 CM.....	97
ANEXO C – QUADRO RESUMO DA ANOVA DOS VALORES DA PRODUÇÃO DE SEMENTES DE MORINGA.....	98
ANEXO D – QUADRO RESUMO DA ANOVA DOS VALORES DA PRODUÇÃO DOS GRÃOS DE GUANDU.....	98
ANEXO E – QUADRO RESUMO DA ANOVA DOS VALORES QUANTO A ÁREA OCUPADA (AS) PELAS RAÍZES, COMPRIMENTO DAS RAÍZES (CT), MATÉRIA SECA (MS) E O NITROGÊNIO TOTAL (N) EXISTENTE NO SOLO.....	99

## 1 INTRODUÇÃO

A moringa (*Moringa oleifera* Lam.) é caracterizada como uma cultura de subsistência presente em áreas cujos solos são os mais diversificados, principalmente em regiões onde a maioria da população é de baixa renda. Esta cultura foi difundida no mundo para atender as necessidades alimentares de populações mais pobres dada sua rica composição nutricional, sendo possível aproveitar todas as partes da planta na alimentação humana e animal. A moringa também apresenta potencial de uso medicinal e cosmético, além de poder ser utilizada no reflorestamento e recuperação de áreas degradadas por se adaptar a diversas condições edafoclimáticas.

Embora seja de origem indiana, a moringa é cultivada no nordeste do Brasil desde a década de 1950, confirmada como uma alternativa nutricional, fonte de proteína e minerais diversos, sendo as folhas consumidas pela população como suplemento alimentar e fornecida aos animais criados nas pequenas propriedades, pois são as partes mais palatáveis da planta. Com a escassez de alimentos dadas as adversidades climáticas cada vez mais recorrentes, várias regiões em especial no semiárido nordestino passam a ampliar o uso da moringa, plantando de forma adensada para permitir maior volume de biomassa a ser ofertada na nutrição animal (bovinos, suínos, ovinos, caprinos, peixes e aves). O óleo extraído das sementes tem ampla utilização na culinária, na linha de produtos dermocosméticos e com possibilidade de uso no manejo fitossanitário combatendo pragas nas pulverizações e eliminando algumas enfermidades dada as propriedades bactericida e fungicida.

Solos depreciados, desprovidos de matéria orgânica e elementos essenciais para desenvolvimento das plantas, podem ser beneficiados com o plantio da moringa, dada suas propriedades de adaptação às condições de falta de água, acumulando água no sistema radicular em sua estrutura tuberosa com vasto potencial que pereniza a planta. O solo arenoso pode ser explorado com a cultura da moringa, dadas as características de resistência, sugerindo a possibilidade de consórcio com outras plantas para favorecer a formação de exsudatos radiculares e potencializar a ação das micorrizas e consequente favorecimento na absorção dos nutrientes através dos pelos radiculares.

Dada a riqueza inserida na biomassa das leguminosas e da moringa, a deposição desse material no solo, principalmente o excedente que não foi aproveitado na alimentação animal, contribui para o melhor condicionamento do solo à medida que se decompõe.

Os múltiplos usos da moringa indicam seu forte potencial para a bioeconomia, o que pode ser ainda mais expressivo mediante adoção de práticas de conservação de solo e água no processo produtivo. O consórcio de algumas espécies vegetais com a moringa seria vantajoso, oferecendo outras possibilidades de produtos ao agricultor, podendo originar oferta de alimentos para os animais, tais como leguminosas ou gramíneas, assim como proporcionar melhoria da qualidade do solo.

Nesse contexto, é importante definir a melhor estratégia de consórcio e de adubação verde em condições de baixa disponibilidade hídrica, visando maior sustentabilidade na produção.

O consórcio de plantas proporciona inúmeros benefícios, dentre os quais estão a proteção do solo contra a erosão, o uso eficiente de recursos pelas plantas, a estruturação do solo para melhor desenvolvimento radicular e a obtenção de recursos financeiros com os diversos produtos colhidos. Caso seja efetuado o manejo de podas parciais das espécies consorciadas, depositando os resíduos sobre o solo para a adubação verde, é possível obter duplo benefício técnico-econômico: a oferta de nutrientes para a cultura principal e a geração de renda por meio da comercialização do produto proveniente da cultura secundária.

Para que o sistema consorciado resulte no duplo benefício mencionado anteriormente, é preciso escolher a espécie mais adequada a ser introduzida no sistema. O feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp) e a leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) têm bom potencial para consórcio com a moringa em regiões de baixa disponibilidade hídrica. Todas possuem adaptabilidade e usos nas regiões semiáridas, são viáveis e passíveis de geração de outras receitas, além de auxiliarem no manejo para conservação do solo e da água.

Este estudo partiu da hipótese de que entre as espécies feijão guandu e leucena, consorciadas com a moringa em regime de sequeiro em solo arenoso, uma é mais promissora na contribuição da qualidade do solo e na rentabilidade do agricultor, submetendo-se poda de 50% ou 100% das plantas consorciadas.

O objetivo geral da pesquisa foi identificar, dentre as espécies feijão guandu e leucena, a mais promissora para ser consorciada com a moringa em regime de sequeiro e a estratégia de poda mais adequada para favorecer atributos químicos do solo, a produção da moringa e a geração de renda aos agricultores.

Os objetivos específicos foram: determinar a massa fresca e massa seca dos resíduos de poda parcial e total das espécies avaliadas; determinar o acúmulo de nutrientes e sódio na biomassa de poda parcial e total das espécies avaliadas; determinar atributos químicos do solo após a poda parcial e total da biomassa da parte aérea das espécies avaliadas; avaliar a produção da moringa em função dos tratamentos e avaliar aspectos econômicos do consórcio proposto com as espécies.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A cultura da moringa

A espécie perene popularmente denominada moringa (*Moringa oleifera* L.) é originária do nordeste indiano e distribuída na Índia, Paquistão, Singapura, Jamaica, Nigéria, Egito, Filipinas, Sri Lanka, Tailândia, Malásia e Myanmar. Foi introduzida no Brasil na década de 1950 e seu plantio vem se expandindo no país por ser de fácil cultivo e com múltiplas utilidades (Pio Corrêa, 1984; Duke, 1987; Silva; Kerr, 1999). Pode ser encontrada em maior quantidade na região Nordeste, principalmente nos estados do Maranhão, Piauí e Ceará (Cysne, 2006).

A Índia é o maior produtor e exportador da moringa, enviando os produtos para todo o mundo. O governo indiano informou em 2016 que o mercado ascendeu 363 milhões de euros. Na época, as projeções eram de elevação nas exportações indianas de moringa entre 26 a 30%, sendo os Estados Unidos da América o maior importador (Kaput, 2015). Os países que mais importam produtos diversos da moringa são: Estados Unidos da América, Alemanha, Japão e França (Trademap, 2021).

A área de cultivo do pomar de moringa aumentará de 160.000 ha para cerca de 1 milhão de hectares até 2030, principalmente devido ao uso para produção para biocombustível. O mercado global em diversos produtos da moringa é estimado em mais de US\$ 8,0 bilhões e deve ultrapassar US\$ 20,0 bilhões até 2030, crescendo a uma taxa de mais de nove por cento ao ano (Advanced Biofuel Center - ABC, 2024). No Brasil não há informações de projeções de cultivo de moringa, uma vez que é uma cultura não convencionalmente produzida. Contudo, empresas investem no setor de cosméticos, como alternativa de uso hidratante a base do óleo de moringa. Pequenos e médios produtores cultivam a planta para fazer silagem e fornecer aos animais durante o período sem chuvas.

A *Moringa oleifera* é uma das espécies da família moringaceae em que há mais espécies (*M. arborea*, *M. borziana*, *M. concanensis*, *M. drouhardi*, *M. hildebrandtii*, *M. longituba*, *M. ovalifolia*, *M. peregrina*, *M. pygmaea*, *M. rivaie*, *M. ruspoliana*, *M. stenopetala*) que podem ser encontradas no mundo (Dahot, 1988). É uma árvore decídua de crescimento rápido, com altura máxima entre 10 e 12 m, enquanto seu tronco pode atingir até 45 cm de diâmetro. As flores têm aproximadamente 1,0 e 1,5 cm de comprimento e 2,0 cm de largura. A floração começa nos primeiros seis meses após o plantio. O fruto é uma cápsula marrom caída de três lados, 20 a 45 cm de comprimento, contendo sementes esféricas marrom-escuras com cerca de 1,0 cm de diâmetro. As sementes possuem três finas e esbranquiçadas “asas”, que são responsáveis pela distribuição uniforme pela água e pelo vento (Olson; Carlquist, 2001).

Outro aspecto importante relacionado aos usos múltiplos da moringa, é o potencial das sementes na purificação de águas contaminadas, dada a propriedade coagulante que a semente possui. Como exemplo, o pó da semente de moringa possui propriedades antibacterianas que tornam a água própria para consumo e usos em criatórios de peixes (Aruna; Srilatha, 2012).

Principalmente em países mais pobres, a moringa é disseminada como alternativa alimentar, adaptando-se em diversas condições edafoclimáticas e por ser um vegetal resistente e pouco exigente em água. Esse vegetal pode crescer desde as regiões subtropicais secas e úmidas, até as tropicais secas e florestas úmidas. Sendo consideradas tolerantes à seca, chegando a florescer e produzir frutos, as plantas se desenvolvem em áreas cujas precipitações variam de 250 até 3.000 mm, assim como em temperaturas que variam de 25 a 40°C, caracterizando-se por melhor se desenvolver em condições de clima tropical em regiões do semiárido (Olson, 2002).

A moringa é adaptada a diversos tipos de solos, porém se desenvolve melhor em terra preta bem drenada ou em terra preta argilosa, havendo preferência por solos com pH neutro a levemente ácido (Dalla Rosa, 1993).

Consortiar a moringa com outra cultura pode trazer benefícios para o solo e incremento de produção, sendo conduzida com a soja apresentou produtividade de sementes em todas as parcelas de consórcio 30% superior à obtida na parcela de cultivo único. Esse resultado foi em estudo realizado na Nigéria, com cultivo desenvolvido num solo bem drenado com pH 5,2 no qual após o segundo ano de consórcio da soja com a moringa, o pH elevou-se para 6,8 e apresentou incremento de 0,07% de nitrogênio na segunda safra. A produção e biomassa da moringa não teve interferência, equiparando-se tanto no sistema consorciado como no cultivo solteiro (Abdullahi; Anyaegbu, 2017).

Mudas de *M. oleifera*, durante o estabelecimento, mostraram sintomas de crescimento atrofiado e amarelecimento das folhas, resultando em morte ou redução do crescimento. Isso, em alguns casos, foi atribuído à baixa nutrição inicial do solo (Francis; Liogier, 1991). Apesar de ser resistente e adaptar-se em diversas condições e tipos de solo, a moringa ao ser cultivada requer todo o manejo técnico em sua condução, sendo fundamental a análise de solo e da folha para entender o estado nutricional. Solos ácidos afetam o desenvolvimento radicular das plantas, onde a moringa responde bem ao pH mais equilibrado entre 5,7 e 6,5 aproximadamente. Desta forma, a planta oleaginosa com uma boa condução produz maiores vagens com maior quantidade de sementes e conseqüentemente melhores teores de ácidos graxos na composição do óleo extraído.

Em solos arenosos, a *M. oleifera* apresenta maior porte, assim como mais matéria seca da parte aérea e da raiz ao ser conduzida com a aplicação de nitrogênio ao solo. Também há bons resultados de desenvolvimento das plantas mediante uso do fósforo, promovendo maior produção de matéria seca das raízes em relação a produção de matéria seca da parte aérea. Percebe-se que com o aumento do pH do solo por meio da calagem, a moringa é beneficiada com o aumento da altura das plantas, além de incremento de matéria seca das folhas e das raízes (Pahla *et al.*, 2014).

A moringa desempenha um importante papel nos objetivos de desenvolvimento sustentável dadas suas características versáteis, como efeitos benéficos à saúde. Os polifenóis encontrados nas diferentes partes desta planta demonstraram benefícios para a saúde e serviram como catalisadores para a produção de ingredientes valiosos. Tem aplicação na produção de biocombustíveis, na síntese de nanomateriais verdes e na fortificação de alimentos e rações funcionais para aumentar o valor nutricional., além de ser largamente utilizada em produtos farmacêuticos, destacando-se na fabricação de diferentes pomadas para cuidados com a pele.

A biomassa de *M. oleifera*, demonstrou ser uma fonte abundante de importantes micro e macronutrientes e fitoquímicos essenciais, altamente relevantes para o desenvolvimento de nanopartículas metálicas de base biológica, biocarvão e adsorventes. Essa biomassa também atua como catalisador e fonte de FAME (ésteres metílicos de ácidos graxos) na produção de biodiesel. Fitoquímicos derivados de extratos de moringa melhoram o sabor e a aceitabilidade geral de alimentos funcionais e rações animais. Alinha-se de forma abrangente às práticas sustentáveis no setor agroindustrial juntamente com o conceito de bioeconomia circular (Kumar *et al.*, 2025).

## 2.2 Sistema consorciado de plantas como prática conservacionista do solo

ConSORCIAR o plantio de plantas é uma prática antiga, usada principalmente em pequenas propriedades, possibilitando melhor índice de utilização da terra, maior retorno econômico, resultando em incrementos na qualidade do solo, permitindo tanto o uso de culturas anuais, como perenes e semiperenes (Bertol *et al.*, 2019).

O sistema consorciado é caracterizado pelo crescimento simultâneo de duas ou mais culturas em uma mesma área, não estabelecidas necessariamente ao mesmo tempo, devendo estar integrado a um programa de rotação de culturas (Kolmans; Vásquez, 1999). Esse modelo de plantio é empregado, sobretudo, pelos agricultores que cultivam áreas menores, procurando aproveitar ao máximo as áreas disponíveis, os insumos limitados e a mão-de-obra utilizada para diversos tratamentos culturais (Caetano *et al.*, 1999).

A consorciação entre culturas otimiza a produção pelo melhor aproveitamento da área, explorando a combinação de espécies eficientes na utilização dos recursos de produção como espaço, nutrientes, água e luz. A eficiência e as vantagens de um sistema consorciado estão na complementaridade entre as culturas envolvidas, na maior diversidade biológica e produção por unidade de área, além do potencial de gerar renda extra ao agricultor (Resende; Vidal, 2008).

Tanto o guandu quanto a leucena, espécies leguminosas escolhidas para o consórcio com a moringa, destacam-se pela contribuição no incremento do acúmulo de nitrogênio no solo, traz melhoria na qualidade do solo devido aos profundos sistemas radiculares, promovendo interação com microrganismos. Contudo, são plantas que geram produtos tais como grãos e forragem para os animais, possibilitando mais renda extra aos agricultores.

Há possibilidade de consorciar a cultura de interesse comercial e uma outra espécie que apresente funções importantes como, por exemplo, atração de inimigos naturais, repelente de insetos, adubos verdes, etc. Um exemplo clássico dessa associação ocorre entre milho e a leguminosa mucuna (*Mucuna pruriens*), cujo plantio sincronizado permite que a floração da leguminosa coincida com a seca da planta de milho, originando palhada rica em nutrientes que pode ser utilizada no cultivo de hortaliças (Resende; Vidal, 2008).

Deve-se considerar no sistema consorciado aspectos das plantas como tolerância ao sombreamento, profundidade do sistema radicular, hábito de crescimento, potencial como hospedeira de pragas e doenças, tolerância à seca e potencial de produção de biomassa. É necessário verificar a afinidade entre as culturas, sendo separadas em plantas companheiras e antagonistas. Alguns exemplos de plantas que devem ter o cultivo consorciado evitado: abóbora e batata, alface e salsa, cebola e ervilha, tomate e batata, batata e pepino, entre outras. A

utilização dessas culturas ao mesmo tempo no campo, poderá servir de fonte de inóculo (pragas e doenças) para a outra, causando prejuízos ao produtor (Resende; Vidal, 2008). O sistema consorciado possibilita maior diversificação na disponibilidade de alimentos e aumento da rentabilidade por unidade de área cultivada (Coelho *et al.*, 2000).

### **2.2.1 Adubação verde como prática conservacionista do solo**

Conforme mencionado no item anterior, no sistema consorciado uma espécie pode ser utilizada para adubar a outra, agindo na melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. As plantas podem ser cortadas e depositadas na superfície do solo ou incorporadas, favorecendo a proteção do solo contra erosão e a liberação de nutrientes. As plantas usadas como adubos verdes beneficiam a cultura principal servindo também de rotação de culturas, controlando pragas e doenças e promovendo a ciclagem de nutrientes (Bertol *et al.*, 2018).

A adubação verde é uma importante prática não só para a conservação, mas também para a recuperação do solo. Além disso, a prática contribui com a nutrição da cultura principal. É uma técnica acessível aos agricultores dada a simplicidade de execução, usada há muito tempo, sendo retomada à agricultura atual com seus benefícios consolidados, trabalhando para o manejo do solo como um sistema vivo e dinâmico (Abranches *et al.*, 2021).

Geralmente as plantas usadas como adubo verde provêm de três famílias: *Fabaceae* (composta pelas plantas popularmente chamadas de leguminosas); *Brassicaceae* (como exemplo a couve, o repolho, a couve-flor); e *Poaceae* (gramíneas) (Elhakeem *et al.*, 2019). Destacam-se as leguminosas como as mais amplamente utilizadas devido a capacidade de fixação do nitrogênio, elemento essencial na adubação das culturas agrícolas, sendo fundamental na dotação de um manejo sustentável (Morais, 2018).

O cultivo associado entre hortaliças e adubos verdes tem sido muito difundido entre produtores orgânicos, realizando plantios sincronizados de forma que o adubo verde seja incorporado no momento que a hortaliça começa a produzir. Tem-se observado experiências de sucesso com plantios entre tomate consorciado com guandu, crotalária com berinjela e crotalária com inhame (Resende; Vidal, 2008).

No estudo de quatro espécies de plantas (*Carica papaya* L., *Azadirachta indica*; *Moringa oleifera*; *Prosopis africana*) consideradas como adubos verdes abundantes na Nigéria, os resíduos foram incorporados ao solo na dose de 5,0 t / ha, duas semanas antes do semeio do quiabo. A incorporação da biomassa das plantas contribuiu para reduzir a densidade do solo, aumentar a porosidade, os teores de N, P, K, Ca, Mg, além da incorporação de matéria orgânica, o que resultou em aumento de produtividade semelhante à adubação mineral convencional. Salienta-se que o adubo verde moringa proporcionou melhor qualidade do quiabo em termos de conteúdo de K, Ca, Fe, Zn, Cu e vitamina C, em comparação com outros adubos verdes e fertilizantes NPK, dado o pH mais elevado que a moringa proporciona ao solo (Adekiya, 2019).

Avaliando o desenvolvimento das leguminosas arbóreo-arbustivas como fonte de nutrientes, consorciadas com coqueiros em regime de sequeiro, constatou-se que o N e os demais nutrientes provenientes da poda das leguminosas têm sua disponibilidade no solo aumentada, contribuindo para a nutrição dos coqueiros. Também foi observado que o plantio da *Gliricidia sepium*, com densidade de 20.000 plantas ha<sup>-1</sup>, promoveu maiores teores e acúmulos de nutriente no solo (Magalhães, 2023).

## **2.3 Espécies com potencial de uso em sistemas consorciados e como adubos verdes**

### **2.3.1 Leucena - *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit**

Planta originária das Américas, ocorrendo naturalmente do Texas até o Equador, mas que foi introduzida nas Ilhas do Caribe, Havaí, Austrália, Índia, Indonésia, Malásia, Papua Nova Guiné e outros países do sudoeste da Ásia, em países da África e no Brasil. Adapta-se às precipitações que variam de 250 até 1.700 mm e temperaturas que variam de 10 a 40°C, não tolerando geadas (Drumont; Ribaski, 2010).

É uma planta perene, alcança até 20 m de altura e diâmetro médio à altura do peito (DAP) de 30 cm. Possui folhas compostas formadas por 5 a 20 pares de folíolos. Gerando flores brancas que se agrupam em capítulo globular, produzindo fruto tipo vagem que possui de 15 a 30 sementes, podendo um quilo das sementes conter de 15 a 20 mil unidades. Desenvolve-se em solos bem drenados com pH de 5,5 a 8,5 e não salinizados, não evoluindo adequadamente em solos com teores elevados de alumínio. Para se obter bom desenvolvimento, requer cálcio, enxofre, zinco, boro e molibdênio. A leucena tem potencial para melhorar a matéria orgânica do solo, dada a propriedade de fixar nitrogênio atmosférico por meio da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* e pela solubilização do fósforo por meio de associação com fungos

endomycorrízicos vesículo-arbusculares (FMVA) dos gêneros *Glomus* e *Gigaspora* (Drumont; Ribaski, 2010).

Os consórcios realizados com a leucena apresentam, em geral, bons resultados. Trabalhando em sistema de podas, foi observado bom desenvolvimento e produção de matéria seca na terceira poda da espécie consorciada com feijão e algodão, mesmo havendo período de escassez de água (Barreto; Filho, 1992).

A leucena pode ser podada entre 6 e 8 meses após o plantio, de modo que o corte a 75 cm de altura permite maior capacidade de rebrota e produção (Seiffert; Thiago, 1983). A incorporação ao solo de 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de poda da leucena, aumentou o rendimento do feijão, o qual foi superado somente pela combinação entre leucena e fertilizante mineral (Kluthcouski, 1982). A leucena consorciada com o milho ou mandioca duplicou a produção de grãos e de rizomas, respectivamente, dessas culturas (Brewbaker *et al.*, 1985).

Outro consórcio difundido com a leucena é com gramíneas para pastagem, favorecendo ganho de peso dos animais, sendo opção interessante para os agricultores. Foi observado que na pastagem de capim-buffel consorciada com a leucena, aumentou a lotação de quatro para seis borregos por hectare sem redução do ganho individual de peso dos animais, com conseqüente aumento da produção por unidade de área (Sousa; Espíndola, 2000).

A leucena, mesmo trazendo benefícios em sistemas consorciados, tem seu plantio restrito no Ceará através da lei 16.002 de 02 de maio de 2016, onde foi criado o Programa de Valorização das Espécies Vegetais Nativas. Essa restrição ocorreu devido ao risco da planta se disseminar de forma não controlada, ou seja, ter característica de espécie invasora. Contudo, ao ser conduzida com a podas da parte aérea evitando florescimento e frutificação, o controle desse caráter indesejável é favorecido.

### 2.3.2 Guandu – *Cajanus cajan* (L.) Millsp

*Cajanus cajan* (L.) Millsp é uma espécie conhecida popularmente como guandu, ervilha-de-angola, ervilha-do-congo, feijão-de-árvore ou pigeon, que pode ter sido originada na África ou na Índia, com introdução no Brasil no período da escravatura. Foi largamente distribuída e aclimatada na zona tropical, assumiu importância como fonte de alimento humano, forragem e também como cultura para adubação verde (Dobereiner, 1977; Campelo, 1982; Pereira, 1985).

O guandu projeta-se entre as mais importantes leguminosas, sendo capaz de apresentar elevadas produções de sementes ricas em proteína, mesmo em solos de baixa fertilidade, estando adaptada a altas temperaturas e a condições de seca (Skerman, 1977;

Morton *et al.*, 1982). Desenvolve-se bem em faixa de temperatura entre 20 e 40 °C durante seu ciclo. Pode ser encontrado desde a região tropical até a subtropical, sob condições de precipitação variando entre 500 mm e 1.500 mm por ano (Bogdan; Skerman, 1977).

O guandu adapta-se aos mais diversos tipos de solo, com desenvolvimento favorecido em solos mais leves de textura arenoso-argilosa, tolerando salinidade e não suportando excessos de água (Krauss, 1921). Cresce em solos com pH entre 5 e 8, apresentando melhor desempenho em solos com valores de pH aproximadamente neutros. Embora sejam obtidas colheitas de forragem razoáveis em solos ácidos (2,0 a 4,0 Mg de massa seca ha<sup>-1</sup>), mediante correção da acidez e adubação, esta produção pode ser elevada para até 14,0 t massa seca.ha<sup>-1</sup> ano (Skerman, 1977).

A espécie apresenta porte arbustivo ereto podendo atingir 1,5 a 3,5 m de altura; as folhas compostas possuem três folíolos discolors, tomentosos e de textura aveludada. Suas flores possuem coloração variando do amarelo ouro ao amarelo avermelhado e apresentam-se em inflorescências axilares racemosas. Seus frutos são do tipo legume ou fava, também chamados de vagem, de formato achatado e curvilíneo, com sementes semelhantes a ervilhas, que podem ser lisas ou rajadas, dependendo da variedade (Krauss, 1921).

Por ser uma leguminosa de primavera-verão, o guandu é importante na produção de material vegetal, principalmente na parte aérea, em relação às de outono-inverno, sendo assim mais eficaz na cobertura e na melhoria da qualidade química do solo, além de ciclagem de nutrientes (Bertol *et al.*, 2018).

O guandu é utilizado em consórcio com plantas perenes servindo de quebra vento, adubo verde e controlando ervas daninhas, como por exemplo, quando implantado consorciado no cultivo do café. Já quando utilizado consorciado com fruteiras como o citrus, beneficia propriedades do solo, sendo plantado a 1,0 m de distância da fruteira para evitar competição por nutrientes e usando 20 sementes por metro linear com espaçamento de 50,0 a 60,0 cm entre linhas (Pereira, 1985).

Deve ser implantado mais adensado para permitir produção de ramos mais finos e tenros para permitir o fácil corte e deposição na superfície do solo. Quando a finalidade do cultivo do guandu for produzir grãos, é sugerido o plantio em menor densidade, semeando entre 4,0 e 5,0 kg ha<sup>-1</sup> de sementes (EMBRAPA, 1982).

Observou-se que o guandu apresentou maior produção de matéria seca e maior fornecimento de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, manganês e zinco em relação à crotalaria e a pastagem, dado o sistema radicular profundo e a habilidade de maior exploração e reciclagem de nutrientes (Alcântara *et al.*, 2000).

No cultivo do feijoeiro em sistema de plantio direto, o guandu-anão e milho foram plantados para servir de cobertura morta após dessecação, sendo constatado que ambos obtiveram produção de fitomassa acima de 6,0 Mg ha<sup>-1</sup>. Obteve-se resposta de decomposição da palhada do guandu-anão mais rápida do que do milho, mas a produção e produtividade não tiveram diferenças significativas. A palhada de guandu-anão e milho não apresentou efeito alelopático ao desenvolvimento do feijoeiro cv. IPR Colibri, não havendo problemas para o uso dessas duas espécies como formadoras de palhada (Marangoni *et al.*, 2017).

O guandu contém proteínas de alta qualidade, quantidades significativas de aminoácidos essenciais e minerais dietéticos, e baixos níveis de gordura saturada, colesterol e sódio, sendo uma alternativa adequada e saudável à carne. Serve a uma infinidade de propósitos, incluindo alimento, forragem, lenha, material para cercas e melhoria da fertilidade do solo. Pode ser consumido em diversas formas: como sementes inteiras, sementes partidas, como vegetal, utilizando sementes verdes, e como vagens frescas. As sementes secas de guandu podem ser moídas em farinha para produzir uma variedade de produtos alimentícios, como pão, macarrão instantâneo, salgadinhos, biscoitos e massas.

O guandu com suas diferentes partes anatômicas, incluindo raízes, folhas verdes, vagens e sementes, são ricas fontes de compostos bioativos com diversas propriedades benéficas, incluindo efeitos anti-inflamatórios, antibacterianos, antioxidantes, antidiabéticos e anticancerígenos. Apesar das boas propriedades nutricionais e de saúde já relatadas do guandu, recomenda-se a realização de mais estudos na área de desenvolvimento de produtos alimentícios funcionais à base de guandu, além da conscientização do consumidor sobre suas vantagens nutricionais e propriedades terapêuticas (Haiji *et al.*, 2024).

## 2.4 Avaliação do custo de produção e das receitas.

A viabilidade financeira dos consórcios pode ser estudada iniciando-se todo o levantamento de custos das culturas envolvidas, registrando as despesas com mão-de-obra, insumos diversos, tratos culturais necessários, colheita, pós-colheita e escoamento da produção.

Na avaliação técnica-econômica, com base na estimativa da produtividade e na receita dos produtos gerados pelas culturas, chega-se à indicadores que os produtores necessitam para suas tomadas de decisões, como por exemplo, o fluxo de caixa e o período de retorno dos investimentos (Arco-Verde; Amaro, 2015).

Destaca-se como indicadores importantes em projetos agrícolas para as análises financeiras e econômicas de investimentos: o valor presente líquido (VPL), o tempo de retorno de investimento (payback), a taxa interna de retorno (TIR) e o benefício periódico equivalente (BPE) (Rezende; Oliveira, 2013).

Como forma de viabilizar economicamente o cultivo de moringa, a produção de folhas de moringa no Quênia foi uma alternativa de receita para os agricultores, foi observada estabilização de produção de 1.800,0 kg h<sup>-1</sup> a de folhas no terceiro ano, adotando-se sistema de produção intensivo com irrigação. A venda da folha desidratada por US\$ 3,00 kg<sup>-1</sup> para a cooperativa de agricultores, foi mais vantajosa do que comercializar a folha fresca para empresas locais no preço de US\$ 0,17 kg<sup>-1</sup>. Desta forma, o VPL estudado foi positivo no valor de US\$ 8,049 (Waterman *et al.*, 2021).

Espécies leguminosas, por exemplo, podem ser empregadas na prática da adubação verde, buscando reduzir as despesas com a aplicação de adubos nitrogenados (Mascarenhas *et al.*, 1994). O nitrogênio da adubação verde com *Crotalaria juncea*, pode suprir as necessidades da cana-de-açúcar equivalente ao uso de 70,0 kg desse elemento por hectare, gerando resultado com redução entre 19% e 21% do uso de nitrogênio convencional. Realizou-se análise econômica de experimentos com adubação verde em áreas de cana-de-açúcar, considerando-se os custos de produção da cultura e dos adubos verdes, além das receitas obtidas com a venda da cana-de-açúcar, amendoins, soja, girassol e feijão (Ambrosano *et al.*, 2011).

Em cultivo de alface e repolho, adotou-se a prática da adubação verde antes do plantio das hortaliças, utilizando mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum* Piper & Tracy.), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* DC.) e crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.), realizando o manejo de poda das plantas e posterior deposição e incorporação de resíduos ao solo. Como controle, um tratamento com adubação convencional (400,0 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 150,0 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 150,0 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo o último parcelado em 75,0 kg ha<sup>-1</sup> no plantio, 50,0 kg ha<sup>-1</sup> aos

30 dias após o plantio e 25,0 kg ha<sup>-1</sup> aos 45 dias após o plantio) foi adotado para a alface e para o repolho foi aplicado 100,0 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 100,0 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 150,0 kg ha<sup>-1</sup> de N (Souza *et al.*, 2017).

Nas análises do estudo, foi diagnosticado que a *Crotalaria juncea* apresentou maior teor de matéria seca e menor custo em relação às outras culturas. Usando da técnica da orçamentação parcial, levantando-se os custos de cada adubação verde, percebeu-se que os lucros da produção orgânica são superiores aos da não orgânica devido ao custo de venda dos produtos ser mais elevado em comparação ao cultivo convencional (Souza *et al.*, 2017).

Consoviando *Gliricidia sepium* em densidade média com coqueiros, obteve-se aporte maior de N em relação aos demais tratamentos, correspondendo a 512,0 kg ha<sup>-1</sup> de ureia no primeiro ciclo. Mas no segundo ciclo, utilizando maior densidade da *Gliricidia*, resultou no maior aporte (767,4 kg ha<sup>-1</sup>) de N no solo, equivalendo a 1.705,3 kg de ureia (Magalhães, 2023).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Descrição da área

O estudo foi conduzido na Fazenda Moringa Brasil (Beberibe - CE), cujas coordenadas geográficas são 4° 14'40.14"S e 38°07'46.75"O e que está a 33 m de altitude (Figura 1B). A precipitação média anual da região é de 914,10 mm, ocorrendo chuvas entre os meses de janeiro e abril, havendo variação de temperatura entre 26 e 28°C. A classificação climática de Köppen e Geiger da área de estudo se enquadra em Aw, clima tropical quente semiárido brando.

A área de estudo está inserida em unidades geomorfológicas denominadas planície litorânea e tabuleiro costeiros pré-litorâneos (CEARÁ, 2017). De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, o solo da área de estudo foi classificado como Neossolo quartzarênico (Santos *et al.*, 2018). O solo foi corrigido de acordo com o resultado da análise química de caracterização, buscando atender à demanda nutricional das espécies que foram introduzidas no sistema consorciado.

Tabela 1 - Análise química de caracterização do solo, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, no início da implantação do experimento no ano de 2022.

ITEM	UNIDADE	PROFUNDIDADE (cm)	
		0 a 20	20 a 40
pH (CaCl <sub>2</sub> )	-	5,10	5,30
pH (H <sub>2</sub> O)	-	5,70	5,90
pH (SMP)	-	7,10	7,30
Hidrog+Alum.H+Al	cmol/kg	1,30	1,10
Alumínio...Al <sup>+3</sup>	cmol/kg	ALD	ALD
Cálcio.....Ca <sup>+2</sup>	cmol/kg	2,60	1,40
Magnésio.....Mg <sup>+2</sup>	cmol/kg	0,50	0,40
Potássio.....K <sup>+</sup>	cmol/kg	0,10	0,05
Fósforo (Mehlich) P	mg/dm <sup>3</sup>	3,00	6,00
Fósforo (Resina) P	mg/dm <sup>3</sup>	6,00	8,00
Carbono.....C	g/dm <sup>3</sup>	11,00	8,00
Matéria Orgânica	%	1,90	1,40
Soma de Bases.SB	cmol/kg	3,20	1,85
Capac.Troca...CTC	cmol/kg	4,50	2,95
Saturação Bases.V	%	71,11	62,71
Cálcio/Magnésio	-	5,20	3,50
Enxofre.....S	mg/dm <sup>3</sup>	4,10	5,80
Sódio.....Na	mg/dm <sup>3</sup>	5,70	2,90
Boro.....B	mg/dm <sup>3</sup>	0,30	0,20
Ferro.....Fe	mg/dm <sup>3</sup>	18,60	25,00
Manganês....Mn	mg/dm <sup>3</sup>	15,30	8,60
Cobre.....Cu	mg/dm <sup>3</sup>	0,70	0,80
Zinco.....Zn	mg/dm <sup>3</sup>	2,60	1,40

Fonte: Laboratório de análises de solo e tecido vegetal – UNITHAL.

ALD: Abaixo do Limite de Detecção.

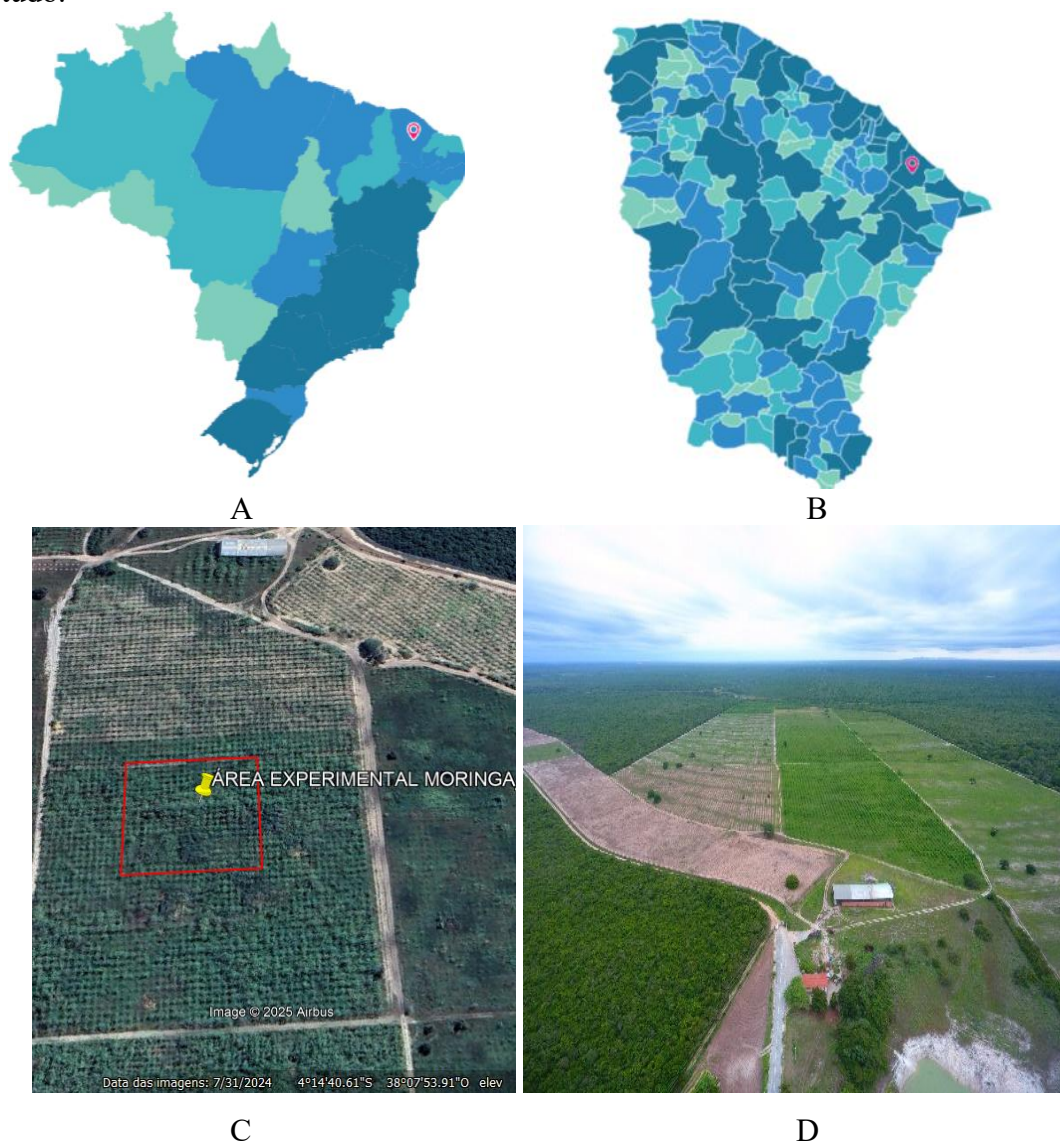
Tabela 2 - Análise granulométrica, densidade (aparente e real) e classe textural do solo, na camada de 0 a 20 cm, no início da implantação do experimento no ano de 2022.

ITEM	RESULTADO
Cascalho	0%
Areia Grossa	79,40%
Areia Fina	10,90%
Argila	5%
Silte	4,70%
Densidade Aparente	1,30 g/cm <sup>3</sup>
Densidade Real	3,10 g/cm <sup>3</sup>
Classe Textural USDA	Areia

Fonte: Laboratório de análises de solo e tecido vegetal – UNITHAL.

O experimento foi instalado em 2021 em área cultivada com *Moringa oleifera* Lam, estabelecida desde 2017, em espaçamento de 4 x 4 m e que vinha sendo conduzida em regime de sequeiro (Figura 1D). A área consolidada com o plantio da moringa era composta por vegetação nativa e era manejada utilizando-se de práticas mínimas de controle mecânico de ervas daninhas e podas das plantas de moringa com foco na produção de sementes para extração do óleo para usos em cosméticos.

Figura 1 - Localização do Estado do Ceará no mapa do Brasil (A) e do município de Beberibe no mapa do Estado do Ceará (B) onde foi realizado o presente estudo. Imagem de satélite na Fazenda Moringa Brasil situando a área de instalação do experimento (C). Foto aérea da área (D) cultivada com *M. oleifera* na Fazenda Moringa Brasil e que foi utilizada para a realização deste estudo.



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021) (Figuras A e B). Google Earth (Figura C). O próprio autor (Figura D).

### 3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos aleatorizados (DBA), em parcelas subdivididas. Nas parcelas foram avaliados dois tipos de poda das plantas consorciadas (50% e 100% das plantas podadas). O percentual de 50% de plantas podadas, foi definido buscando deixar parte da cultura cultivada gerando produção de grãos para comercialização ou consumo, direcionando a outra parte da biomassa podada para deposição sobre a superfície do solo. Nas subparcelas foram avaliadas duas espécies de plantas consorciadas com a moringa (leucena e guandu) e a vegetação de regeneração que foi constituída, principalmente, pelas espécies cipó chumbo (*Cuscuta racemose*) e vassourinha de botão (*Spermacoce verticillate*).

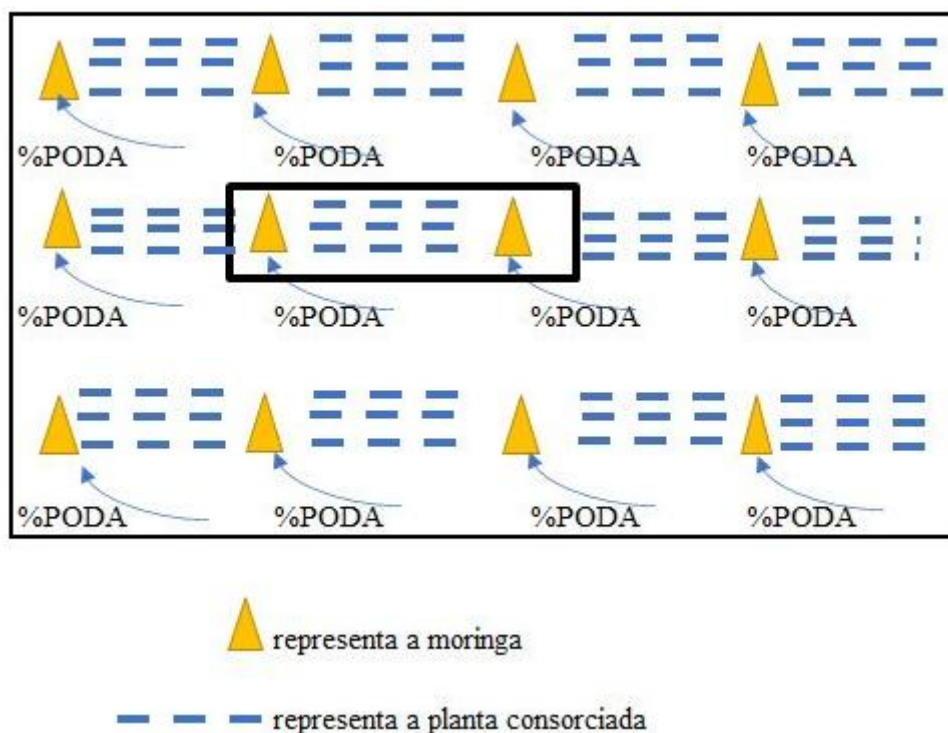
Figura 2 - Croqui da área experimental indicando o posicionamento dos blocos, dos tratamentos nas parcelas (50 e 100% de poda) e nas subparcelas (vegetação consorciada com a moringa).

<b>BLOCO 1</b>	LEUCENA 100%	GUANDU 100%	CONTROLE 100%
	GUANDU 50%	CONTROLE 50%	LEUCENA 50%
<b>BLOCO 2</b>	CONTROLE 50%	GUANDU 50%	LEUCENA 50%
	GUANDU 100%	LEUCENA 100%	CONTROLE 100%
<b>BLOCO 3</b>	CONTROLE 100%	GUANDU 100%	LEUCENA 100%
	GUANDU 50%	LEUCENA 50%	CONTROLE 50%
<b>BLOCO 4</b>	LEUCENA 50%	CONTROLE 50%	GUANDU 50%
	CONTROLE 100%	GUANDU 100%	LEUCENA 100%

Fonte: O próprio autor (2021).

O experimento foi conduzido com quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Cada subparcela tinha 12 plantas de moringa e representou uma espécie com um percentual de poda, contendo dimensões de 16 metros de comprimento e 12,0 metros de largura, totalizando 192 m<sup>2</sup>. As plantas de moringa tinham espaçamento de plantio 4,0 x 4,0 metros e distribuídas em 4 linhas. Deste modo, todo o estudo foi alocado numa área de 4.608,0 m<sup>2</sup>, comportando 288 plantas de moringa (Figura 2). As linhas centrais de cada subparcela foram consideradas área útil, enquanto as duas linhas laterais foram consideradas bordadura. Nas entrelinhas foram estabelecidas as espécies em sistema de consórcio e a vegetação de regeneração.

Figura 3 - Esboço esquemático de uma unidade experimental contendo *M. oleifera* (triângulo amarelo) e espécies consorciadas (linha pontilhada azul) nas parcelas experimentais. O retângulo marcado representa a área útil.



Fonte: O próprio autor (2021).

A leucena consorciada com a moringa foi plantada com espaçamento de 1,5 m entre linhas e 1,0 m entre plantas (área de 6 m<sup>2</sup> por unidade experimental), totalizando 864 indivíduos. Já o guandu, foi plantado com espaçamento de 1,5 m entre linhas de plantas e seis plantas por metro linear (área de 6,0 m<sup>2</sup> por unidade experimental). Foram plantadas 3 linhas de 12 plantas entre as moringas, totalizando 3.456 indivíduos no experimento.

Na área útil de cada parcela foram avaliadas duas plantas de moringa e sua área de influência. Os tratamentos foram distribuídos aleatoriamente no croqui que foi levado ao campo para auxiliar na instalação do experimento (Figura 3).

A formação das plantas e a produção foram impactadas pela condição climática. O experimento foi conduzido conforme a realidade da maioria das áreas dos produtores nas quais o sistema de cultivo é em sequeiro. Isso influenciou nos tempos de colheita e de ocorrência de enfermidades nas diferentes espécies presentes no estudo.

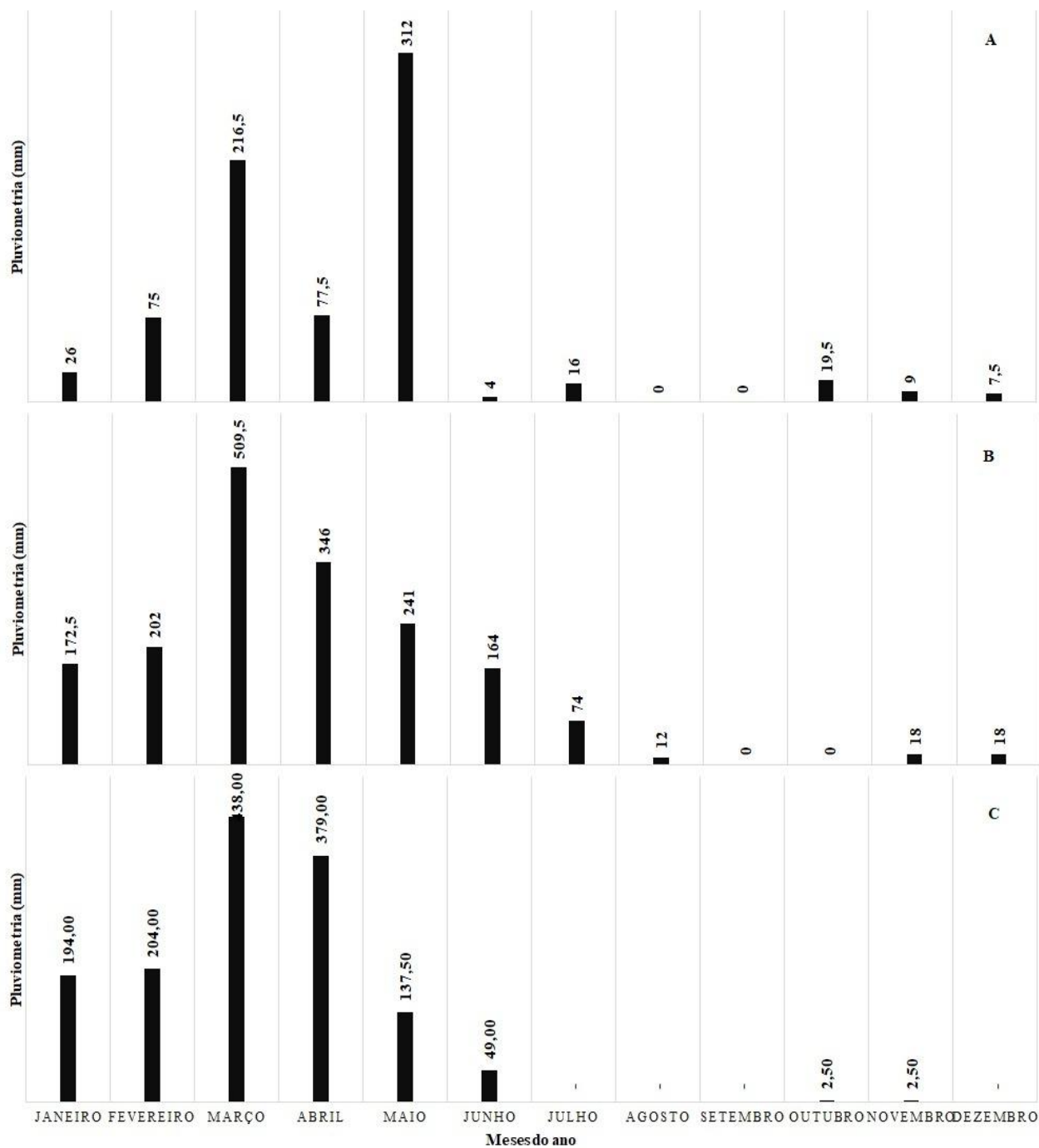
Lagartas e pulgões foram as principais pragas controladas e o mofo cinzento a doença que mais acometeu as plantas, principalmente atacando brotos terminais contendo flores e posteriormente vagens.

O controle fitossanitário foi realizado por meio da aplicação de *Beauveria bassiana* (fungo usado no controle biológico), óleo vegetal, detergente neutro e calda sulfocálcica, obedecendo o manejo orgânico conduzido no cultivo comercial. O óleo e o detergente eram misturados à *B. bassiana* nas aplicações para combater as pragas, alternando a aplicação com calda sulfocálcica para prevenir ou combater fungos.

O experimento foi conduzido entre 2021 e 2024 e, nesse período, foram registradas em pluviômetro as precipitações diárias. Na Figura 4 são apresentados os gráficos das chuvas registradas em 2021 (preparo da área do experimento com 770 mm), em 2022 (ano do plantio e primeira colheita da moringa com 1.771 mm) e 2023 (segundo ano de colheita da moringa com registros de 1.406,50 mm).

Em 2021 (Figura 4A) as chuvas foram inferiores em relação aos anos posteriores, sendo possível a execução do plantio somente no mês de março no qual houve maior lâmina de chuva (216,5 mm), proporcionando umidade no solo favorável à semeadura. Mas, a partir do mês de junho o período de chuva foi abreviado, retardando o desenvolvimento das plantas, interferindo na floração e, conseqüentemente, afetando a qualidade da produção (vagens com menor quantidade de sementes). Nesse período, houve necessidade de realizar irrigação de salvamento utilizando trator com equipamento pipa acoplado, fornecendo lâmina d'água de 125 mm distribuídos entre os meses de junho a dezembro, ou seja, com aplicação média semanal de 4,46 mm.

Figura 4 - Precipitações mensais na área experimental nos anos 2021 (A), 2022 (B) e 2023 (C).



Fonte: O próprio autor (2023).

No ano de 2022 (Figura 4B) houve melhor distribuição e maior volume das chuvas (1.771 mm), mantendo as plantas em maior conforto térmico e hídrico, sendo importante para a melhor formação das plantas e para a produção. Em 2023 (Figura 4C) houve bom volume de chuvas (1.406,50 mm), mas em 2021 essas chuvas não foram bem distribuídas, afetando o desenvolvimento, floração e a produção da moringa e das plantas consorciadas.

A série histórica (Figura 5) da climatologia do município de Beberibe (Ceará) ilustra as variações na precipitação até então discutidas.

Figura 5 - Série histórica de 30 anos (1991 a 2021) de dados climatológicas para o município de Beberibe, Ceará.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	26,9	26,7	26,5	26,5	26,7	26,3	26,2	26,6	26,7	27	27,3	27,3
Temperatura mínima (°C)	25	24,8	24,7	24,7	24,8	24,3	23,9	23,9	24,2	24,8	25,2	25,3
Temperatura máxima (°C)	29,5	29,1	28,8	28,8	29,2	29	29,4	30,4	30,5	30,4	30,4	30,1
Chuva (mm)	105	146	215	241	125	61	33	7	5	8	11	35
Umidade(%)	78%	81%	83%	83%	80%	77%	72%	67%	68%	70%	71%	74%
Dias chuvosos (d)	14	15	16	18	13	8	5	1	1	2	3	8
Horas de sol (h)	8,3	7,8	7,2	7,4	8,1	8,5	8,9	9,6	9,3	8,8	8,7	8,8

Fonte: Climate-Data.org (2024)

Na série histórica constata-se que o mês de temperatura mais elevada foi dezembro, durante o qual a temperatura média atingiu 27,3 °C, enquanto que no mês de julho foi registrada temperatura de 26,2 °C. A variação da precipitação entre os meses com os níveis mais baixos e mais altos foi de 236 mm. Quanto a umidade relativa do ar, os meses que apresentaram o nível mais elevado foi em março e abril (83,0 %), enquanto que em agosto foi registrada apenas 67,0%. Salienta-se que os meses de março e abril apresentaram maior número de dias de chuva, com 18 dias cada, enquanto os meses com menos precipitação foram agosto e setembro, com apenas 1,0 dia de chuva cada mês (Figura 5).

Os dados da série histórica, equiparam-se com os dados coletados dentro da área de estudo em todo o período de desenvolvimento do experimento, constando os meses de março e abril com maiores precipitações e, conseqüentemente, maior umidade relativa do ar. Já os meses de agosto a dezembro apresentaram baixa umidade relativa.

### 3.3 Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido seguindo um planejamento, alinhando orçamentos, questões climáticas, disponibilidades de mão-de-obra e insumos, de acordo com o cronograma a seguir (Tabela 3).

Tabela 3 - Cronograma resumido da execução do experimento.

ANO	DATA	ATIVIDADE
ANO 1	12/12/2021	Demarcação da área do experimento.
	14/12/2021	Limpeza e gradagem leve da área do experimento.
	20/12/2021	Controle das formigas.
	22/12/2021	Instalação de placas de localização dos blocos.
ANO 2	12/01/2022	Coleta de solo inicial para verificação química e granulométrica.
	01/02/2022	Aplicação de calcário dolomítico em toda a área.
	08/03/2022	Plantio e replantio das espécies consorciadas (pouca chuva não permitiu poda).
	30/03/2022	Adubação com fosfato natural nas plantas consorciadas e adubo orgânico nas moringas.
	20/06/2022	Primeira poda das plantas consorciadas.
	10/09/2022	Irrigações de salvamento.
	10/11/2022	Início da colheita da moringa (ciclo 1).
ANO 3	22/11/2022	Colheita de grãos do guandu.
	14/02/2023	Coleta do solo distante 20, 40, 60 e 80 cm da moringa para avaliação das raízes.
	16/02/2023	Amostras de solo foram pesadas e peneiradas.
	23/02/2023	Separação das raízes do solo.
	09/03/2023	Fim da primeira colheita de moringa. Prolongada dado excesso de chuvas).
	17/04/2023	Segunda poda das plantas consorciadas.
	02/05/2023	Coleta do solo da área dos tratamentos.
	09/05/2023	Análise das raízes no scanner.
	19/05/2023	Início das análises químicas da biomassa.
	25/05/2023	Fim das análises químicas da biomassa.
	28/06/2023	Análise química do solo.
	07/07/2023	Análise do COT do solo.
	13/07/2023	Análise do N do solo.
	13/09/2023	Determinação do COT e do N do solo.
22/11/2023	Início da colheita da moringa (ciclo 2).	
ANO 4	12/02/2024	Fim da segunda colheita da moringa (ciclo 2).
	14/02/2024	Segunda colheita do guandu.

Fonte: O próprio autor (2023).

Antes do preparo da área foram realizadas aplicações de insumo biológico (*Beauveria bassiana*) com óleo vegetal e detergente neutro para combater o ataque das formigas (Figura 6), praga da moringa que cortam as folhas podendo gerar danos econômicos.

Figura 6 - Controle das formigas em dezembro de 2021 e em janeiro de 2022.



Fonte: O próprio autor (2022).

O corretivo do solo (calcário dolomítico com PRNT 90) foi aplicado a lanço na quantidade de  $1,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  em área total no início da quadra chuvosa em fevereiro de 2022, buscando fornecimento de cálcio e magnésio (Pereira, 1985; Ramos *et al.*, 1997). Foi feita gradagem leve para limpeza e uniformização do solo para a instalação do experimento, facilitando a semeadura das espécies em seu respectivo espaçamento.

Figura 7 - Área gradeada em dezembro de 2021 (A) no período seco e instalação das placas (B) para separação dos blocos experimentais em Março de 2022.



A

B

Fonte: O próprio autor (2022).

O plantio do guandu e da leucena foi realizado em março de 2022, com as sementes depositadas sobre o sulco de semeadura para o guandu e em berços para a leucena no início do período das chuvas, sendo que as sementes foram previamente inoculadas com insumos adquiridos na Embrapa Agrobiologia.

Nas sementes de leucena foi utilizado o inoculante turfoso *Ensifer fredii* BR 827 (Figura 8A), enquanto que nas sementes de guandu foi o inoculante turfoso *Bradyrhizobium elkanii* BR 2003 (Figura 8B). Foi acrescida solução de água com açúcar 10% junto aos inoculantes turfosos para dar mais aderência e uniformidade às sementes. Para o guandu foram aplicados 50,0 g do inoculante para 2,0 kg de sementes, enquanto que para a leucena foram 50,0 g do inoculante para 6,0 kg de sementes (Auras *et al.*, 2018).

Figura 8 - Inoculantes utilizados nas sementes de leucena (A) e do feijão guandu (B).



A

B

Fonte: O próprio autor (2022).

As sementes inoculadas de leucena (Figura 9A) e de guandu (Figura 9B), foram depositadas respectivamente nos berços (Figura 9C) e nos sulcos (Figura 9D). Onde houve mais de uma semente germinada foi realizado o desbaste, deixando-se as plântulas mais vigorosas. Foi feito acompanhamento da germinação, das falhas e da mortalidade de plântulas para possibilitar a reposição precoce buscando manter a população de plantas. A germinação das sementes de guandu (Figura 9D) e leucena (Figura 9C) ocorreu aos 6 e 7 dias após o plantio, respectivamente.

Figura 9 - Sementes de leucena (A) tratadas com inoculante, sementes de guandu (B), germinação das sementes de leucena (C) no berço e do guandu (D) no sulco.



Fonte: O próprio autor (2022)

Adubações foram realizadas nas espécies introduzidas no consórcio, conforme os boletins de recomendação. Para o feijão guandu foram seguidas as orientações contidas em circular técnica da Embrapa, cujo conteúdo trata dessa cultura como opção para a agropecuária brasileira (Pereira, 1985). A leucena foi adubada conforme recomendação da circular técnica da EMBRAPA, tratando-se do cultivo da leguminosa com objetivo de alimentação animal (Ramos *et al.*, 1997).

Foram utilizados insumos naturais ou permitidos como orgânicos. Com 22 dias após o plantio, foi usado fosfato natural com 25% de  $P_2O_5$  conforme necessidades apresentadas nas análises laboratoriais, sendo a leucena (Figura 10B) recebendo a adubação fosfatada na quantidade de  $357,0 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $89,25 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ ) ou  $216,0 \text{ g}$  por parcela de fosfato natural, com o adubo depositado ao redor das plântulas (Figura 10B) e misturado ao solo.

A cultura do guandu recebeu fosfato natural na quantidade de  $268 \text{ kg}$  por hectare

(67,0 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) ou 324,0 g por parcela, sendo alocada no sulco (Figura 10A) da linha de plantas. No tratamento referente à vegetação de regeneração, foi viabilizado o crescimento de espécies espontâneas sem aplicação de calcário e fertilizantes.

Figura 10 - Aplicação do fosfato natural na linha do sulco (A) de plantio do guandu e ao redor da planta de leucena (B).



A

B

Fonte: O próprio autor (2022)

As plantas de moringa que já estavam implantadas foram conduzidas dentro dos princípios de cultivo orgânico, ou seja, sem aplicação de insumos químicos. Todo mês foi realizada a limpeza manual da vegetação espontânea da área, com exceção das áreas do tratamento controle. Este seguimento foi adotado, pois o local da pesquisa estava passando por processo de certificação orgânica, sendo permitido somente o uso de insumos naturais ou registrados como orgânicos por instituições certificadoras.

Até a instalação do experimento a nutrição da moringa foi conduzida de acordo com estudos realizados no Zimbábwe, considerando níveis de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O aplicados em solos arenosos cultivados com a cultura oleaginosa (Pahla *et al.*, 2014). No entanto, a partir da instalação do experimento, a adubação foi realizada com os resíduos podados das plantas consorciadas.

As espécies consorciadas e a vegetação de regeneração se desenvolveram até o início do próximo período chuvoso, quando foi realizada a poda da parte aérea das espécies consorciadas e da vegetação de regeneração. As leguminosas foram podadas com uso de facão a uma altura de 50 cm da superfície do solo, já a vegetação espontânea foi roçada com uso de máquina roçadeira a gasolina. Os 50% das plantas que não foram podadas, tiveram seu ciclo mantido e chegaram à fase produtiva, sendo a produção medida para cálculo do retorno financeiro com sua comercialização. Após a realização das podas, os restos vegetais foram alocados sobre o solo no entorno da projeção da copa da moringa, a uma distância de 1,2 m do tronco da moringa, abrangendo uma área de 4,5 m<sup>2</sup>.

Durante o período sem chuvas, as plantas receberam irrigação (125,0 mm) de salvamento somente no ano de 2021 que teve menor precipitação, mantendo as plantas de leucena e guandu vivas na fase mais jovem. Nos outros anos não houve necessidade de irrigação, pois as precipitações corresponderam a demanda hídrica das culturas.

### **3.4 Avaliações**

#### **3.4.1 Avaliações das plantas consorciadas e da vegetação espontânea**

A poda foi realizada quando as plantas consorciadas e a vegetação de regeneração do tratamento controle atingiram o máximo crescimento vegetativo ou fase de floração, o que aconteceu no início do período chuvoso no primeiro e no segundo anos após a semeadura. A poda foi realizada deixando as plantas com 50 cm de altura, conforme os tratamentos 50% e 100% da área plantada, com a deposição sobre o solo do material cortado e não triturado no entorno das plantas de moringa. A biomassa das plantas consorciadas e da vegetação espontânea foram coletadas logo após a poda, antes de ser depositada ao redor da planta e enviadas para o laboratório. A área contendo os 50% de plantas que não foram podadas na fase de floração, tiveram a produção colhida (grãos de guandu e biomassa de leucena) para avaliação de produtividade e rentabilidade. As plantas podadas 100%, após a deposição do material no solo e novas brotações emitidas, deixou-se desenvolverem até realizar a coleta de grãos de guandu e biomassa da leucena ao final do ciclo no segundo ano.

Com um molde (Figura 11A) construído em material de PVC (policloreto de vinil) com as dimensões de 1,0 x 1,0 m, em cada unidade experimental, foram coletadas 04 subamostras aleatórias da biomassa depositada sobre o solo para formar 01 amostra composta que foi armazenada em sacos de ráfia e levada ao laboratório.

O molde foi lançado para amostragem (Figura 11B) aleatoriamente, evitando tendência de marcar alguma área propositalmente.

Figura 11 - Utilização do molde (A) como exemplo da amostragem (B) e coleta de biomassa (C).



Fonte: O próprio autor (2022).

A biomassa (Figura 11 C) coletada foi levada à estufa de circulação forçada de ar a 65°C para obtenção da massa seca e cálculo da umidade. Com base na umidade e na massa fresca de toda a amostra coletada marcada no molde, calculou-se a massa seca de toda amostra contida no molde para posterior estimativa do produzido em um hectare.

Após secagem, o material foi moído em moinho tipo Willey, macerado (Figura 12A), acondicionado em sacos de papel (Figura 12B) para posterior realização das análises químicas. Foi realizada a extração do fósforo (P); potássio (K), sódio (Na); cálcio (Ca); magnésio (Mg); cobre (Cu); ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) através do método da EMBRAPA. O teor de P foi determinado por colorimetria, enquanto o de K foi por fotometria de chama. Os teores Ca, Mg e dos micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) foram determinados no aparelho de absorção atômica Thermo Scientific Ice3300. O N total foi determinado utilizando o extrator de digestão com ácido sulfúrico (Tedesco *et al.*, 1995).

Utilizando os dados do teor de nutrientes, de sódio e da massa seca produzida com a poda, foi calculado o acúmulo dos elementos químicos com base na biomassa seca coletada no molde de 1,0 x 1,0 m projetado para 1,0 hectare.

Figura 12 - Exemplo das folhas após secagem, trituração no moinho, maceradas (A) e armazenadas em sacos de papel (B).



A

B

Fonte: O próprio autor (2023).

### 3.4.2 Distribuição de raízes

Visando avaliar os efeitos das raízes no solo, foram identificados os atributos desenvolvimento da área superficial (AS) em cm<sup>2</sup>, matéria seca (g) e o comprimento total (CT) cm cm<sup>-3</sup> das raízes do guandu, da leucena e da vegetação espontânea, no segundo ano após o plantio das leguminosas (08 meses após a primeira poda), foram coletadas amostras de volume conhecido de solo contendo as raízes. Também foi analisada a concentração do nitrogênio total no solo entre os tratamentos. Para tal, foi utilizada sonda amostradora com altura de 100 cm e diâmetro interno de 4,5 cm e graduada a cada 10,0 cm para orientação das coletas em relação à profundidade (Figura 13A).

Cada tratamento teve amostras de solo coletadas à profundidade de 10 cm no qual foram postas em sacos plásticos (Figura 13C). Cada coleta foi retirada nas distâncias (Figura 13B) de 20, 40, 60 e 80 cm da planta de moringa (Figura 13A). Foram retiradas 48 amostras de solo, todas foram levadas ao laboratório onde as raízes foram separadas do solo (Figura 14A), lavadas e armazenadas em recipientes plásticos com tampa (Figura 14D), contendo álcool 70% para preservar as raízes até realização das análises. O guandu possui um sistema radicular axial profundo que se estende por até dois metros (Kumar *et al.*, 2017). A leucena apresenta sistema radicular com raízes finas mais profundas (Martinez *et al.*, 2020). Foi observado que a vegetação espontânea na localidade se apresentava com um maior sistema radicular axial e pelos absorventes secundários concentrados na superfície do solo.

Figura 13 - Coleta do solo com a sonda (A), distâncias (B) da coleta do solo em relação à moringa, amostra do solo acondicionada em saco plástico (C) e raiz acondicionada em recipiente plástico contendo álcool (D).



A B C D  
Fonte: O próprio autor (2023).

Figura 14 - Separação das raízes (A) e armazenamento em recipiente plástico (B) para realização das análises no escâner.



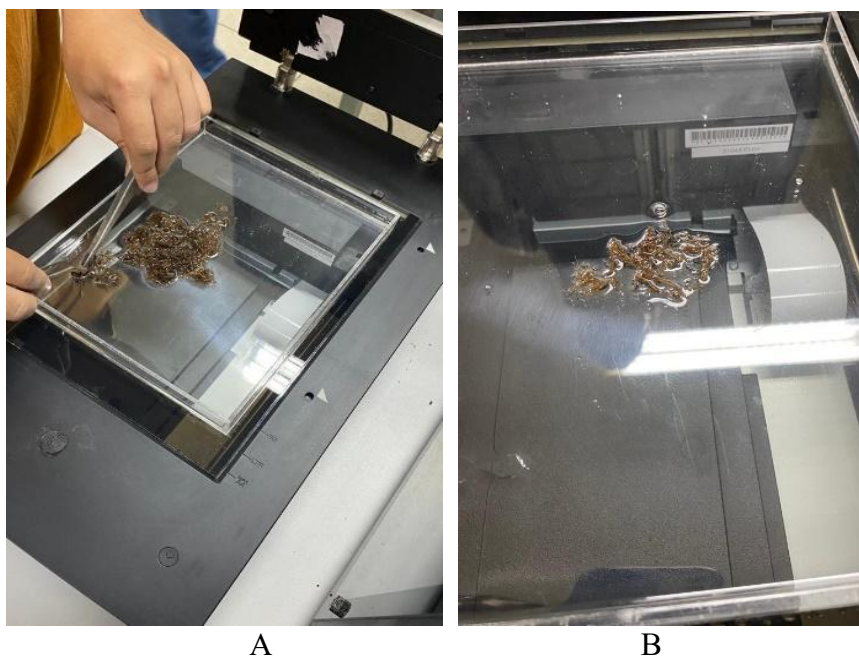
A B

Fonte: O próprio autor (2023).

A avaliação estatística foi em experimento em blocos casualizados com um fatorial 3 x 4, em que o primeiro fator de tratamento foram as duas espécies de leguminosas (guandu e leucena) e o tratamento controle com vegetação espontânea, enquanto o segundo fator de tratamento foram 4 distâncias em relação às plantas de moringa (20, 40, 60 e 80 cm).

Utilizou-se o programa WinRHIZO *basic* associado a scanner da marca Epson, modelo Perfection V800 Photo para obtenção de imagens das raízes lavadas e análise dos atributos radiculares. As raízes foram dispostas em bandeja de acrílico (Figura 15A) transparente de 0,20 m x 0,25 cm, depois as bandejas colocadas sobre a parte de vidro (Figura 15B) do scanner para obtenção da imagem. Os parâmetros de aquisição foram: prioridade em velocidade (*speed priority*), imagens do tipo tons de cinza (*grey levels*), resolução média (400 dpi) e sistema de posicionamento via bandeja (*tray*) de 20 cm (Mayer *et al.*, 2018).

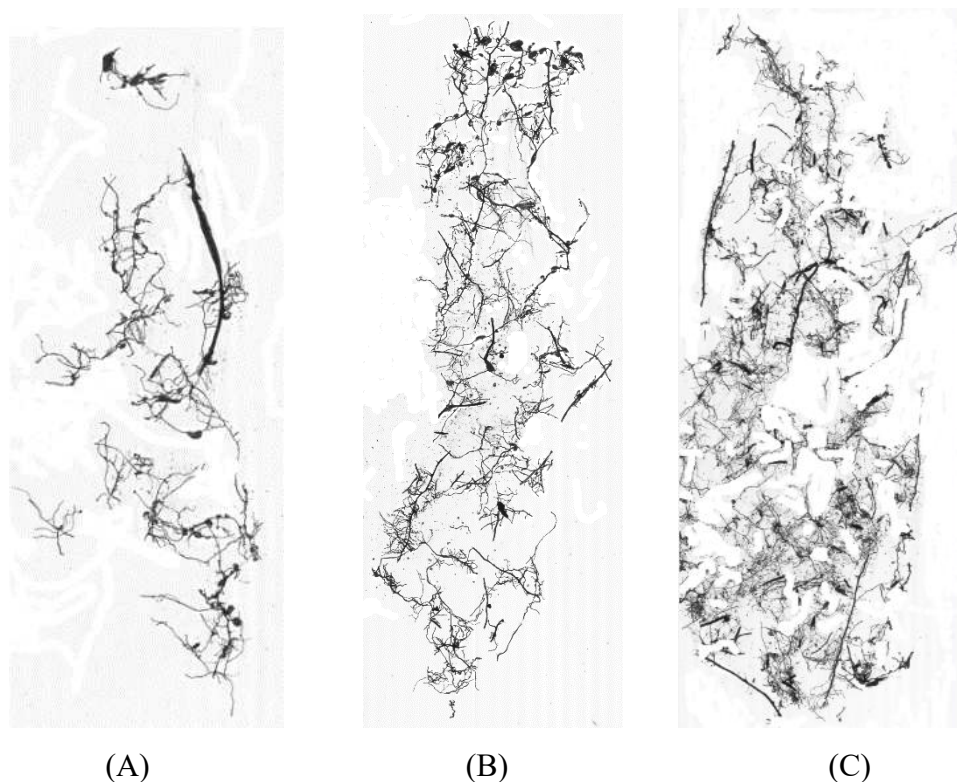
Figura 15 - Disposição das raízes na bandeja (A) de acrílico no scanner e raízes prontas (B) para realização do escaneamento.



Fonte: O próprio autor (2023).

As análises morfológicas geradas pelo software foram salvas em bloco de notas e as imagens (Figura 16 A, B e C) foram importadas para a extensão do sistema WinRHIZO (XLRHIZO), que se trata de uma planilha do Excel. Essa ferramenta transforma os dados do bloco de notas em planilha com os dados dispostos de forma organizada. Após os dados dispostos no formato do XLRHIZO, análises foram salvas em Excel. As imagens obtidas pelo programa foram salvas como TIF que é um formato padrão do sistema.

Figura 16 - Exemplo de raiz escaneada proveniente do tratamento da moringa consorciada com leucena (A), guandu (B) e tratamento controle (C).



Fonte: O próprio autor (2023).

### 3.4.3 Avaliações no solo

No ano de 2022, a primeira poda das plantas consorciadas foi executada sendo a biomassa posta sobre o solo, porém não foram realizadas análises devido ao déficit hídrico que afetou o desenvolvimento das plantas. De acordo com o tempo da decomposição da biomassa observado em campo, definiu-se que com quinze dias após a segunda poda (realizada no ano de 2023) das espécies consorciadas e da vegetação de regeneração, amostras de solo foram coletadas na área útil de cada parcela que ficaram sob influência dos resíduos de poda. A camada superficial de resíduos foi removida e a coleta de amostras deformadas de solo foi realizada com trado holandês nas camadas de 0-20 e 20-40 cm. O solo coletado foi seco ao ar e peneirado com peneira de abertura de malha de 2 mm.

As determinações dos atributos químicos do solo foram as seguintes: pH (H<sub>2</sub>O), nitrogênio total (N), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), fósforo (P), sódio (Na), potássio (K), micronutrientes (Cu – cobre; Mn – manganês; Zn - zinco; Fe – ferro) e carbono orgânico total (COT).

As determinações das amostras de solo ocorreram da seguinte forma: o pH em água (1:2,5) foi medido com pHmetro; o carbono orgânico total do solo foi determinado utilizando o extrator de digestão com ácido sulfúrico; o Al foi extraído com KCl a 1,0 mol L<sup>-1</sup> e titulado com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>; teores de Ca e Mg foram extraídos com solução de KCl a 1,0 mol L<sup>-1</sup> e determinados por aparelho de absorção atômica Thermo Scientific Ice3300; Na e K foram extraídos com solução de acetato de amônio e determinados em fotômetro de chama; o P foi extraído com Mehlich 1 e determinado em fotocolorímetro; e os micronutrientes (Cobre – Cu; Mn – manganês; Fe – ferro; Zn – zinco) foram extraídos com Mehlich 1 e determinados em espectrofotômetro de absorção atômica.

Para a análise do N total do solo onde estavam situadas as culturas consorciadas, foi utilizado o método de Kjeldahl, onde na presença de catalisadores e em alta temperatura, o N da matéria orgânica do solo é mineralizado até amônio (NH<sup>4+</sup>) pela oxidação com ácido sulfúrico. Após a digestão, o N amoniacal que se encontra no meio ácido foi submetido a destilação a vapor após forte alcalinização com adição de NaOH, o que faz com que o NH<sup>4+</sup> se converta à amônia (NH<sub>3</sub>), a qual é arrastada pelo vapor d'água e condensada até alcançar a solução de ácido bórico. Em contato com o meio ácido, a NH<sub>3</sub> é protonada, formando NH<sup>4+</sup>, fazendo com que o pH da solução se eleve. A solução de ácido bórico contém indicadores (verde de bromocresol e vermelho de metila) que permitem visualizar o processo pela alteração de cor vermelha/violeta para verde azulado. A quantificação do N existente na solução de ácido bórico ocorre pela titulação da solução com o ácido sulfúrico, até que se observe o retorno da cor vermelha, que corresponde ao ponto de viragem para condição mais ácida. A quantidade de N existente é proporcional à quantidade de ácido gasta na titulação (Teixeira *et al.*, 2017).

#### **3.4.4 Avaliação da produção de sementes de moringa, óleo de moringa, grãos de guandu e forragem da leucena.**

Após a poda das espécies consorciadas foi iniciada a avaliação da produção de sementes (Figura 17B) da moringa em dois ciclos, nos anos de 2022 e 2023. Nas plantas da área útil de cada parcela as vagens (Figura 17A) foram colhidas, havendo a contabilização do peso das sementes.

O material foi colocado separadamente em sacos de ráfia devidamente identificados que foram levados ao laboratório. As vagens tiveram as sementes removidas manualmente e foi efetuada a pesagem da massa fresca das sementes.

Figura 17 - Vagens de moringa inteiras (A) colhidas no experimento e vagens debulhadas (B).



(A)

(B)

Fonte: O próprio autor (2023)

O  leo da moringa foi extraído   frio, preservando todos os atributos químicos e físicos, através de uma prensa extratora de óleos vegetais ERT 60111 – V2, com peças em inox para evitar reaq es e modifica es das características organolépticas do óleo de moringa. Devido ao natural baixo rendimento do óleo das sementes de moringa, pois são necessários 6 kg de sementes para um extrair 1,0 L de óleo, não foi possível medir a qualidade do produto, dada a pequena representatividade de sementes produzidas dentro da diminuta parcela experimental. Considerando que na produ o da área em estudo o rendimento de óleo foi de 6,0 kg de sementes para extrair 1,0 L de óleo de moringa, estimou-se a produ o de óleo das sementes produzidas no experimento.

A amostra foi analisada através do método AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (Latimer, 2016). Identificaram-se os seguintes indicadores: acidez,  ndice de refra o e densidade relativa. As análises foram realizadas no Laboratório do Núcleo de Biologia Experimental – NUBEX da Universidade de Fortaleza e o Laboratório do CLS - Tecnologia Analítica e Sistemas de Gestão, ambos com corpo técnico habilitado para análise de produtos cosméticos.

### 3.4.5 Avaliação do custo de produção e das receitas

A análise do custo de produção e das receitas da área cultivada em todo o experimento, foi realizada a partir da soma dos gastos com os insumos utilizados no processo produtivo, os custos com mão-de-obra para implantação e manutenção (tratos culturais) do cultivo até a colheita.

Seguiu-se um cronograma de execução, começando os registros em dezembro de 2021 com o preparo da área, marcações do experimento, controle de formigas, realização da calagem, plantios e todas as etapas de condução do experimento e coleta de dados. Todas as atividades foram executadas até fevereiro de 2024.

O valor da mão-de-obra foi baseado no salário mínimo da época da execução dos trabalhos, sofrendo reajustes de acordo com o dissídio fornecido pelo governo federal. Desta forma, obteve-se informações dentro da realidade de cultivo do produtor, tanto dos custos como das receitas estimadas envolvidas no processo produtivo.

Para contabilizar as receitas, levou-se em consideração a comercialização do óleo de moringa, dos grãos de guandu e da forragem de leucena ao longo do tempo da condução do experimento com os preços praticados neste período. A leucena produzida teve seus ramos podados e depositados sobre a superfície do solo, havendo possibilidade de uso dos 50% restantes que permanecem na área para uso na alimentação animal como fonte de proteína, evitando a compra de parte da alimentação animal pelos produtores no período sem chuvas.

Para efeito dos cálculos das receitas, foi considerado o valor de R\$ 300,00 (valor praticado pela empresa Renda Florestal na época) o litro do óleo de moringa, R\$ 9,00 (preço praticado no mercado regional) o quilo dos grãos de guandu e R\$ 2,50 (preço praticado do farelo de soja, alimento que foi substituído pela forragem de leucena, no mercado local em Beberibe Ceará) o quilo da forragem de leucena. Durante o período do estudo o dólar estava no valor de R\$ 4,85 (IPEADATA, 2023).

### 3.4.6. Análises estatísticas

A homogeneidade da variância, os valores discrepantes e a normalidade dos resíduos foram testados para cada variável antes da realização da análise de variância bidirecional (ANOVA). Para dados sobre o acúmulo de nutrientes na biomassa das espécies leguminosas e da vegetação espontânea, as variáveis N, K, P, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn foram transformadas usando uma potência de 0,2. Da mesma forma a transformação de dados também foi aplicada para abordar questões relacionadas à interação entre espécies e nutrientes do solo (0 - 20 cm de profundidade), especificamente para as variáveis Zn e Al (transformadas como  $Al + 0,5$ ), para a profundidade de solo de 20 a 40 cm nas variáveis N, K, Mg, Na, Cu, Zn,  $Al + 0,5$ , HAl, bem como para a produção de *M. oleifera* no primeiro ano. Para análise estatística das raízes, houve a necessidade de transformação de usando a potência de 0,2 para a variável matéria seca (MS).

Essas transformações foram necessárias para corrigir desvios da normalidade, garantir a homogeneidade da variância entre os tratamentos e gerenciar a influência de valores discrepantes. O procedimento de transformação de potência ótima de Box-Cox (Box & Cox, 1964) foi aplicado usando o software SAS antes da realização da ANOVA. Quando as interações entre fatores e/ou efeitos principais foram significativas, as médias dos tratamentos foram comparadas usando o teste de Tukey com um nível de significância de  $\alpha = 0,05$  (SAS Institute, 2015).

## 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

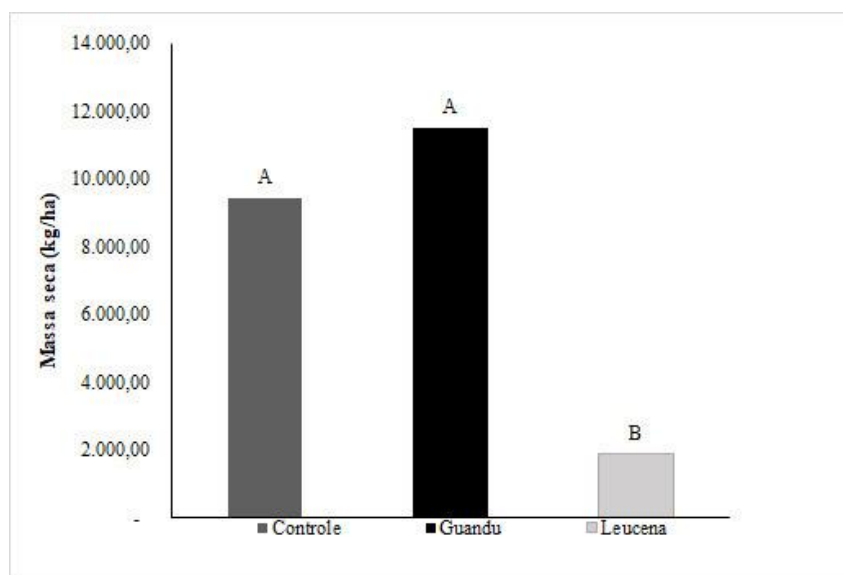
### 4.1 Acúmulo de macronutrientes e micronutrientes na biomassa das plantas consorciadas e da vegetação espontânea e análise das raízes.

#### 4.1.1 Massa seca

No primeiro ano de produção (2022) não foi produzida biomassa significativa devido ao efeito da baixa precipitação que ocorreu no ano anterior. No entanto, as plantas foram podadas e a biomassa das leguminosas, vegetação espontânea (Figura 4A) e da moringa foi depositada sobre o solo para permitir uniformização das plantas e decomposição do material para acúmulo de nutrientes no solo que seria analisado no ciclo posterior. Destaca-se que em 2022 o solo foi corrigido com calcário, aportando cálcio e magnésio ao solo. Além disso, todo o material vegetal podado contribuiu com a qualidade do solo. Já no segundo ano (2023) com as boas condições pluviométricas a massa seca (MS) obtida no estudo diferiu entre as espécies,

de modo que o guandu com 11.500,00 kg ha<sup>-1</sup> foi superior à leucena (1.873,98 kg ha<sup>-1</sup>), porém não diferiu estatisticamente da vegetação espontânea (9.419,01 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 18). A significância estatística dos dados pode ser observada no Anexo A que apresenta o quadro resumo da ANOVA.

Figura 18 – Massa seca produzida no ano de 2023 dos resíduos de poda (50% e 100% de plantas podadas) das espécies consorciadas (guandu, leucena e vegetação espontânea) com a moringa na área experimental.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0.05$ ).

A maior produção de biomassa pelo guandu e pela vegetação do tratamento controle está relacionada às características de crescimento das espécies e ao seu bom desempenho mesmo em sistema consorciado. A vegetação do tratamento controle corresponde à regeneração da área, com espécies consideradas pioneiras que têm características favoráveis ao seu rápido crescimento. Dentro deste contexto sobre a vegetação de regeneração, Caballero *et al.* (2023), verificaram que a conversão de vegetação nativa em pastagem e outros usos agrícolas foi a transição de cobertura do solo mais comum, sendo que a vegetação espontânea da Caatinga apresentou regeneração significativa (16% da área total e 7% da área desmatada) e que entre 2003 e 2020, a porcentagem de vegetação natural no bioma permaneceu estável, com a regeneração compensando o novo desmatamento.

No caso do guandu, a elevada biomassa produzida indica que a espécie foi menos afetada pela competição no sistema consorciado do que a leucena, o que já foi observado em outros estudos. Em sistema de aleias em que guandu e leucena foram consorciados com outras espécies em Latossolo Amarelo Distrófico, o guandu se mostrou superior na produção de

biomassa no segundo ano de avaliação, mas mediante adubação fosfatada a leucena se assemelhou ao guandu (Queiroz *et al.*, 2007).

Para Cavalcante *et al.* (2012), o guandu arbóreo apresentou maior peso da matéria seca (8,7 Mg ha<sup>-1</sup>) em relação a vegetação espontânea (7,2 Mg ha<sup>-1</sup>), sendo um resultado similar ao do presente estudo. Gondim *et al.* (2020) verificaram que o *C. cajan* consorciado com outras espécies produziu 3.200,0 kg ha<sup>-1</sup> de matéria seca, se destacando das demais espécies avaliadas. Em condições de sequeiro no Sudoeste da Etiópia o rendimento de matéria seca de guandu variou de 21,84 Mg ha<sup>-1</sup> até 13,92 Mg ha<sup>-1</sup> para plantas estabelecidas por dois anos (2017 e 2018) em solo de textura franco-argilosa (Hidosa *et al.*, 2020). Os resultados citados guardam relação com os observados no presente estudo, destacando o potencial do guandu consorciado com moringa em solo arenoso.

Por outro lado, a elevada produção de biomassa do guandu pode representar risco de impactar negativamente a produção da *M. oleifera* em decorrência de competição por luz, água e nutrientes. Mas há estudos em que o guandu foi consorciado com culturas anuais sem prejudicá-las, a exemplo do que foi observado em Nitossolo Vermelho de textura argilosa quanto a produtividade de matéria seca no consórcio do milho com guandu. A presença do feijão guandu forrageiro não reduziu a produtividade de massa seca da cultura principal (Santiani *et al.*, 2020).

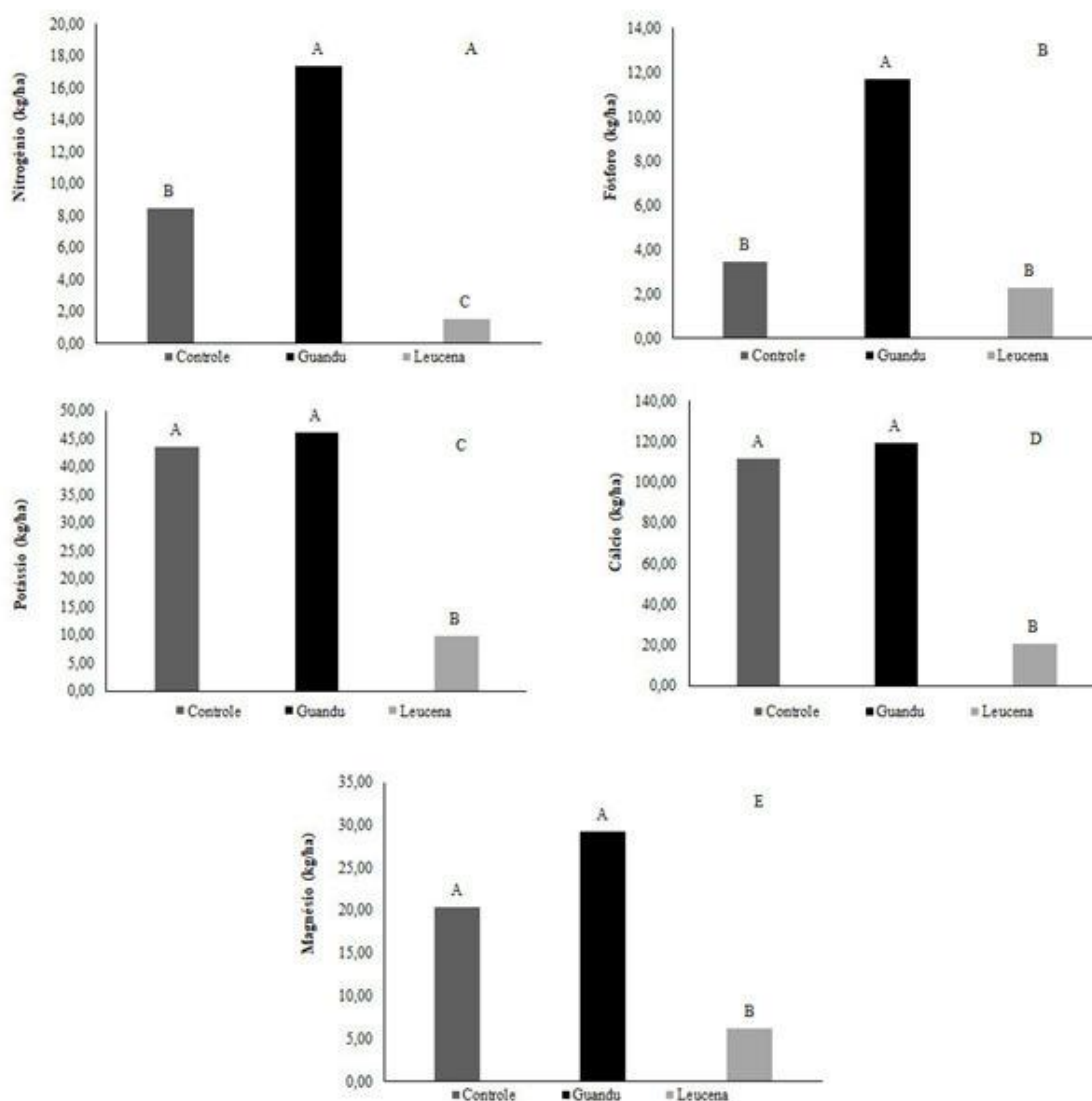
A matéria seca produzida pelo guandu e tratamento controle tem potencial de melhorar o agroecossistema, mas as potencialidades do guandu são maiores pelo fato de ser uma leguminosa. Durante o experimento, as plantas de guandu promoveram sombreamento evitando crescimento de plantas competidoras. Após as podas de 50% e 100% a biomassa resultou em cobertura de solo, ajudando a manter sua umidade. A biomassa da leucena, que também é uma leguminosa, tem potencial de melhorar o solo do sistema consorciado (Barreto; Fernandes, 2001). Nesse contexto, a expectativa é que os nutrientes na biomassa do guandu e da leucena tenham sido acumulados em maiores quantidades, representando bom potencial para a adubação verde da moringa.

A biomassa de guandu, leucena e da vegetação espontânea foi aportada ao solo da área cultivada com moringa, trazendo benefícios a exemplo do observado em estudo em que resíduos de leucena e crotalária consorciadas com milho foram aportados ao solo, aumentando o teor de carbono orgânico e nutrientes (Abrol *et al.*, 2024).

#### 4.1.2 Acúmulo de macronutrientes na biomassa das espécies consorciadas

No acúmulo dos nutrientes na biomassa das espécies consorciadas não houve interação entre os fatores de tratamento. Houve diferenças significativas em respostas às espécies leucena, guandu e vegetação espontânea no acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), com destaque para o guandu (Figura 19). A análise estatística dos dados pode ser observada no Anexo A no qual está o quadro resumo da ANOVA.

Figura 19 - Acúmulo de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D) e magnésio (E) na biomassa das leguminosas consorciadas com moringa (guandu e leucena) e do tratamento controle.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0.05$ )

Houve maior acúmulo de nitrogênio na biomassa do guandu no valor de 17,38 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto para leucena o acúmulo foi de 1,56 kg ha<sup>-1</sup> e para a vegetação espontânea o valor do acumulado foi 8,48 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 19A). O potássio foi acumulado no valor de 46,09 kg ha<sup>-1</sup> para o guandu, 43,67 kg ha<sup>-1</sup> para o tratamento controle e apenas 9,91 kg ha<sup>-1</sup> para a leucena (Figura 19C). Para o fósforo, o guandu destacou-se com o valor acumulado de 11,68 kg ha<sup>-1</sup>, seguido pela concentração de 3,46 kg ha<sup>-1</sup> no tratamento controle e de 2,28 kg ha<sup>-1</sup> para a leucena (Figura 19B).

Mesmo que o acúmulo de nutrientes tenha sido menor para a leucena quando comparada ao guandu, os valores acumulados de macronutrientes (1,56 kg ha<sup>-1</sup> de N; 2,28 kg ha<sup>-1</sup> de P; 9,91 kg ha<sup>-1</sup> de K; 20,69 kg ha<sup>-1</sup> de Ca; 6,22 kg ha<sup>-1</sup> de Mg) foram superiores aos valores encontrados no estudo de Barreto; Fernandes (2001). No estudo citado, a leucena foi plantada no espaçamento 3,0 x 1,0 m, em Latossolo Amarelo numa região de maior precipitação pluviométrica. Supõe-se que isso tenha causado maior lixiviação de nutrientes no sistema de cultivo em sequeiro, levando ao acúmulo de menores quantidades de macronutrientes na biomassa da leucena (0,39 kg ha<sup>-1</sup> de N; 0,02 kg ha<sup>-1</sup> de P; 0,16 kg ha<sup>-1</sup> de K; 0,05 kg ha<sup>-1</sup> de Ca; 0,05 kg ha<sup>-1</sup> de Mg; 0,02 kg ha<sup>-1</sup> de S).

Durante a condução do experimento do presente estudo, as parcelas contendo o guandu e a leucena foram manejadas mantendo-se a área limpa sem vegetação espontânea ao redor. Essa condução favoreceu a leucena que produziu mais biomassa e acumulou nutrientes sem competição com outras espécies, havendo somente a competição com a moringa. Nesta mesma linha de trabalho, Maghembe *et al.* (1986), avaliando a influência do consórcio, das capinas e da densidade de plantio na produção de biomassa da leucena, obtiveram satisfatórios resultados com o acúmulo total de nutrientes na biomassa: 201,0 kg ha<sup>-1</sup> de N; 25,1 kg ha<sup>-1</sup> de P; 267,0 kg ha<sup>-1</sup> de K; 106,0 kg ha<sup>-1</sup> de Ca; 34,0 kg ha<sup>-1</sup> de Mg, além de 18,0 kg ha<sup>-1</sup> de Na.

O acúmulo de magnésio foi de 29,18 kg ha<sup>-1</sup> para o guandu, 20,26 kg ha<sup>-1</sup> para a vegetação espontânea e 6,22 kg ha<sup>-1</sup> para a leucena (Figura 19E). Destacam-se nos resultados o acúmulo de cálcio para o guandu no valor de 119,45 kg ha<sup>-1</sup> e o valor de 111,52 kg ha<sup>-1</sup> para a vegetação espontânea (Figura 19D). Gopalakrishnan *et al.* (2016) constataram que o aporte de Ca ao solo é importante, pois a moringa extrai elevada quantidade deste nutriente que está presente em grande concentração nas suas folhas, sementes e vagens. O expressivo acúmulo de Ca registrado para a biomassa do guandu e da vegetação espontânea ocorreu devido a deposição dos resíduos vegetais sobre o solo após as podas realizadas no primeiro e segundo ciclo de produção, também pela calagem aplicada antes da implantação do experimento, sendo as análises laboratoriais realizadas somente no segundo período.

Em congruência ao estudo desenvolvido e considerando as quantidades de nutrientes acumulados na biomassa do guandu, concluiu-se em uma pesquisa comparativa que a decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de leguminosas como plantas de cobertura, *Cajanus* spp. e *Mucuna aterrima*, foram melhores para cobertura prolongada do solo e liberação lenta de nutrientes, destacando-se para aplicação nas condições de clima semiárido (Santos *et al.*, 2025).

No presente estudo, a biomassa do feijão guandu consorciado com a moringa apresentou maiores valores de N em relação a leucena e a vegetação espontânea, característica potencializada pelo uso dos inoculantes e da compatibilidade do consórcio do guandu com a moringa. O tipo de manejo e o ciclo das culturas consorciadas podem interferir na produção dada a competição por luz, nutrientes e água. Em estudo em que foi observado o crescimento, a competição e a produtividade das espécies em sistema consorciado entre soja e feijão guandu nos trópicos semiáridos da Índia, afirmou-se que antes da colheita da soja a produtividade relativa de nitrogênio da soja foi maior do que os valores correspondentes ao feijão guandu. Isso ocorreu devido a competição por N durante a primeira metade do sistema de cultivo (Ghosh *et al.*, 2005).

Ainda sobre os aspectos relacionados à dinâmica do nitrogênio voltando-se para o ciclo das culturas, para Ghosh *et al.* (2005), a colheita da soja não coincidiu com o pico de floração do feijão guandu, estágio em que a fixação biológica de N foi máxima, mostrando que a dependência do feijão guandu à fixação biológica do N foi baixa antes da colheita da soja. Com o guandu atingindo seu pico de floração após a colheita da soja, a sua produtividade relativa de N aumentou. Relacionando o trabalho citado com os resultados do presente estudo, observando o desenvolvimento das plantas, percebeu-se que a moringa teve florada antes do guandu consorciado, tendo períodos de colheita diferentes contribuindo para melhor fixação do N e satisfatório acúmulo do elemento na biomassa.

Foi observado por Kumawat *et al.* (2013) maior acúmulo de N na biomassa do guandu cultivado isolado, sendo adubo aplicado 100% conforme recomendação e adicionado de 50% de vermicomposto e 5,00 kg do micronutriente Zn, resultando no acúmulo de nutrientes no guandu no valor de 119,70 kg ha<sup>-1</sup> de N, 17,30 kg ha<sup>-1</sup> de P, 83,60 kg ha<sup>-1</sup> de K e 0,15 kg ha<sup>-1</sup> de Zn. Já o guandu consorciado com o feijão preto apresentou acúmulo dos nutrientes no valor de 108,80 kg ha<sup>-1</sup> de N, 15,4 kg ha<sup>-1</sup> de P, 77,2 kg ha<sup>-1</sup> de K e 0,14 kg ha<sup>-1</sup> de Zn. No consórcio do guandu com a moringa a condição foi diferente da citada anteriormente, pois o porte arbóreo da oleaginosa com robusto sistema radicular, promove mais absorção dos nutrientes do solo, além do sombreamento que, de certa forma, inibe o crescimento do guandu.

No presente trabalho com a moringa consorciada ao guandu, a segunda poda da leguminosa ocorreu apenas aos 107 dias após o plantio devido as adversidades das condições edafoclimáticas. Contudo, o acúmulo dos macronutrientes no guandu sucedeu-se na seguinte sequência: Ca>K>Mg>N>P. Essa ordem de acúmulo dos nutrientes sofreu influência da época de realização das podas, das chuvas irregulares e da deposição de biomassa sobre o solo por dois ciclos, destacando que o acúmulo de N no guandu consorciado com a moringa foi de 17,38 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 19A).

A vegetação espontânea consorciada com a moringa e submetida aos níveis de 50% e 100% de poda, aumentou nutrientes no solo através da decomposição de sua biomassa e disponibilização dos elementos. Isso é benéfico desde que a biomassa seja podada no período certo sem deixar que a vegetação espontânea cresça a ponto de prejudicar a cultura principal. Frente a essa afirmação, para Cavalcante *et al.* (2012), utilizando diversos adubos verdes num Argissolo Vermelho Distrófico, na vegetação espontânea resultou-se em acúmulo de 8,48 kg ha<sup>-1</sup> de N, 43,67 kg ha<sup>-1</sup> de K, 3,46 kg ha<sup>-1</sup> de P, 111,52 kg ha<sup>-1</sup> de Ca e 20,36 kg ha<sup>-1</sup> de Mg. Constata-se deste modo os benefícios que também a vegetação espontânea pode proporcionar ao solo, acumulando e liberando nutrientes ao solo através da sua decomposição e infiltração na superfície e na profundidade do solo ao longo do tempo..

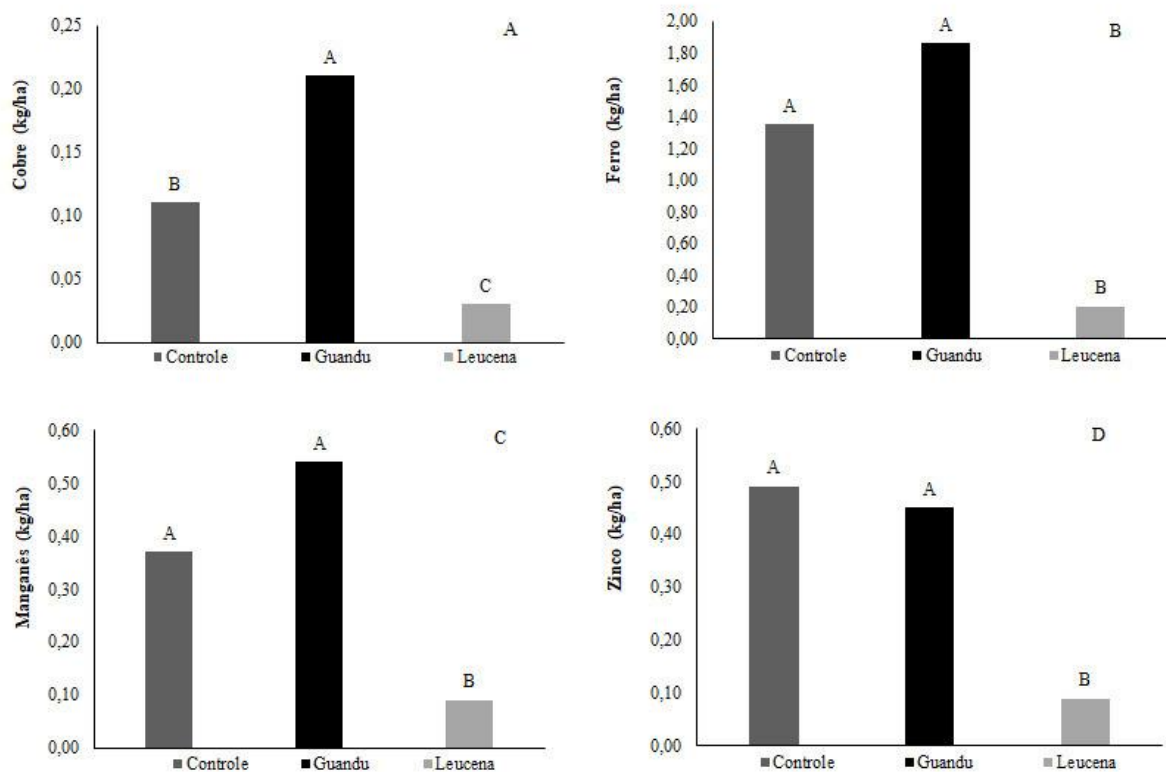
De acordo com Favero *et al.* (2000), durante a avaliação do crescimento e acúmulo de nutrientes por plantas espontâneas e por leguminosas utilizadas para adubação verde, percebeu-se que foram poucas as plantas espontâneas que apresentaram teores de carbono, cálcio e nitrogênio próximos ou superiores aos das leguminosas. No entanto, para K, Mg e P, ocorreu o inverso. A maioria das espontâneas apresentou teores de potássio, magnésio e de fósforo superiores aos das leguminosas. Conforme observado no estudo do consórcio com a moringa, essas diferenças são explicadas pela presença da cultura principal que é uma espécie perene que demanda nutrientes e água em maiores quantidades, assim como proporciona sombreamento interferindo no desenvolvimento da vegetação espontânea, de acordo com o observado na evolução do tratamento controle.

#### **4.1.3 Acúmulo de micronutrientes na biomassa das espécies consorciadas**

Não houve significância estatística para o acúmulo de micronutrientes na biomassa das espécies consorciadas em resposta aos percentuais de poda conduzida no guandu, na leucena e na vegetação espontânea, assim como não houve interação entre os fatores de tratamento. Houve significância estatística para as espécies no acúmulo de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). Contudo, entre as plantas, o guandu teve maior representatividade nos resultados, com exceção para zinco que foi mais expressivo no tratamento controle. A análise estatística dos dados pode ser observada no Anexo A no qual está o quadro resumo da ANOVA.

O guandu superou a leucena quanto ao acúmulo dos micronutrientes na biomassa, apresentando os valores de 0,21 kg ha<sup>-1</sup> de Cu; 1,86 kg ha<sup>-1</sup> de Fe; 0,54 kg ha<sup>-1</sup> de Mn e 0,45 kg ha<sup>-1</sup> de Zn (Figura 20). A vegetação espontânea surpreendeu, acumulando valores de micronutrientes superiores (0,11 kg ha<sup>-1</sup> de Cu; 1,35 kg ha<sup>-1</sup> de Fe; 0,37 kg ha<sup>-1</sup> de Mn e 0,49 kg ha<sup>-1</sup> de Zn) (Figura 20) ao tratamento com a leucena. A leucena apresentou os menores valores de acúmulo dos micronutrientes, 0,003 kg ha<sup>-1</sup> de Cu; 0,2 kg ha<sup>-1</sup> de Fe; 0,09 kg ha<sup>-1</sup> de Mn e 0,09 kg ha<sup>-1</sup> de Zn (Figura 20).

Figura 20 - Acúmulo de cobre (A), ferro (B), manganês (C) e zinco (D) na biomassa das leguminosas consorciadas com moringa e no tratamento controle.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0.05$ ).

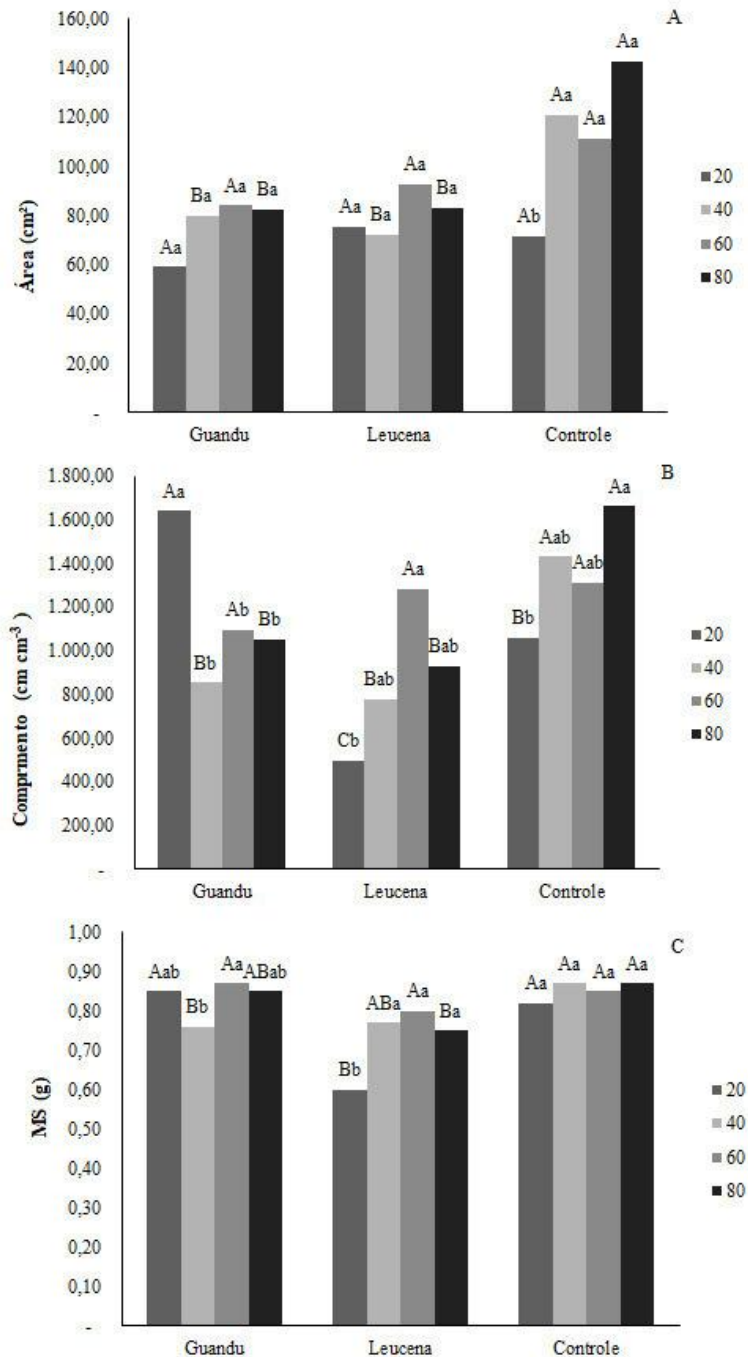
Os resultados do acúmulo de micronutrientes na biomassa do guandu consorciado com a moringa foram superiores aos números alcançados por Silveira *et al.* (2005), que descobriram os valores Zn ( $0,113 \text{ kg ha}^{-1}$ ), Cu ( $0,049 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e Mn ( $0,113 \text{ kg ha}^{-1}$ ) encontrados na biomassa do guandu. Dentre os micronutrientes, o ferro foi o de maior acúmulo na biomassa de parte aérea do guandu, enquanto o menor acúmulo foi observado para o cobre. Desta forma, percebe-se que com o cultivo consorciado com a moringa, o guandu superou a leucena no acúmulo dos micronutrientes avaliados assim como a vegetação nativa, indicando não interferência da moringa no acúmulo dos elementos.

#### 4.1.4 Análise das raízes

Houve resposta significativa (Anexo E) entre os atributos radiculares (área ocupada pelas raízes e o comprimento das raízes) e a matéria seca das raízes das leguminosas e vegetação espontânea em estudo, com a interação entre espécies e distâncias (20, 40, 60 e 80 cm) da planta de moringa.

Apenas o tratamento controle (vegetação espontânea) diferiu significativamente com maior valor para área superficial (AS) de raízes aos 40 e 80 cm de distância das plantas de *M. oleifera*, com os valores de 120,79 cm<sup>2</sup> e 142,65 cm<sup>2</sup>, respectivamente. Na medida em que se distancia das plantas de moringa, há maior área radicular de raízes das espécies consorciadas e da vegetação espontânea (Figura 21A).

Figura 21 - Valores médios da Área superficial -AS (A), em  $\text{cm}^2$ , comprimento total - CT (B), em  $\text{cm cm}^{-3}$  e matéria seca - MS (C), em gramas, de raízes a diferentes distâncias (20, 40, 60 e 80 cm) das plantas de *M. oleifera*.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0.05$ ). Letras maiúsculas comparam as distâncias dentro de cada espécie e letras minúsculas comparam as espécies dentro da mesma distância.

Fonte: O próprio autor (2023).

Houve interação significativa entre espécies e a distância da moringa para o atributo comprimento total (CT) de raízes (Figura 21B). Teve variação de 499,81 cm cm<sup>-3</sup> (na distância de 20 cm distante da planta de *M. oleifera* consorciada com *L. leucocephala*) a 1.639,55 cm cm<sup>-3</sup> (na distância de 20 cm da planta de *M. oleifera* consorciada com *C. cajan*), conforme apresentado na Figura 21B. A vegetação espontânea na distância de 80 cm da *M. oleifera* apresentou o segundo maior CT das raízes. Contudo, o tratamento com *C. cajan* se destacou apresentando maior comprimento de raiz à distância de 20 cm da planta de moringa (Figura 21B). Essa informação contribuiu para a compreensão da maior competição da vegetação espontânea por água e nutrientes na região próxima do tronco da *M. oleifera*, dando importância para a realização do melhor controle das ervas para favorecer a produtividade.

Com o maior desenvolvimento radicular do guandu observado no estudo, percebeu-se o vigor da espécie dado maior potencial em absorver água, sendo assim um vegetal tolerante à seca, eficiente em absorver nutrientes impactando nos aspectos da competição entre as plantas. Deste modo, a AS e a CT medidos, são uns dos principais aspectos morfológicos radiculares gerados pelo WinRHIZO que são indicadores das plantas que caracterizam demonstração de tolerância à seca. Em estudo comparando as raízes de gramíneas e leguminosas como indicativo de tolerância à seca, foi observada maior área superficial nas raízes de gramíneas, mas as leguminosas mais resistentes aumentaram raízes laterais e raízes finas na camada de 0-30 cm (Wang *et al.*, 2020).

Para a massa seca (MS) da raiz, houve interação significativa entre a distância da coleta das raízes e as espécies estudadas (Figura 21C). A maior massa de raízes (0,93 g) foi observada no tratamento da *M. oleifera* consorciada com *C. cajan* aos 60 cm da planta da *M. oleifera*. Nas distâncias de 40 e 60 cm do tratamento controle foram observadas a segunda (0,87 g) e a terceira (0,74 g) maior massa de raízes, enquanto o menor valor de massa seca das raízes foi observado no tratamento com *L. leucocephala*, registrando-se 0,04 g na distância de 20 cm das plantas de *M. oleifera*.

Considerando área, o comprimento e a massa seca das raízes das leguminosas e da vegetação espontânea, os maiores valores registrados para todos esses atributos foram situados entre 60 e 80 cm de distância das plantas de *M. oleifera*. É importante considerar que a maior quantidade de raízes aporta mais matéria orgânica e nutrientes quando as plantas consorciadas são manejadas com podas, potencializando a qualidade do solo da área cultivada e a produção da cultura principal. Isso foi exemplificado em estudo no qual o *C. cajan* foi consorciado com capim-marandu e milho em sistema de semeadura direta, favorecendo atributos radiculares que, por sua vez, promoveram alterações positivas nas propriedades físico-hídricas do solo e a

produtividade de silagem (Sereia, 2017).

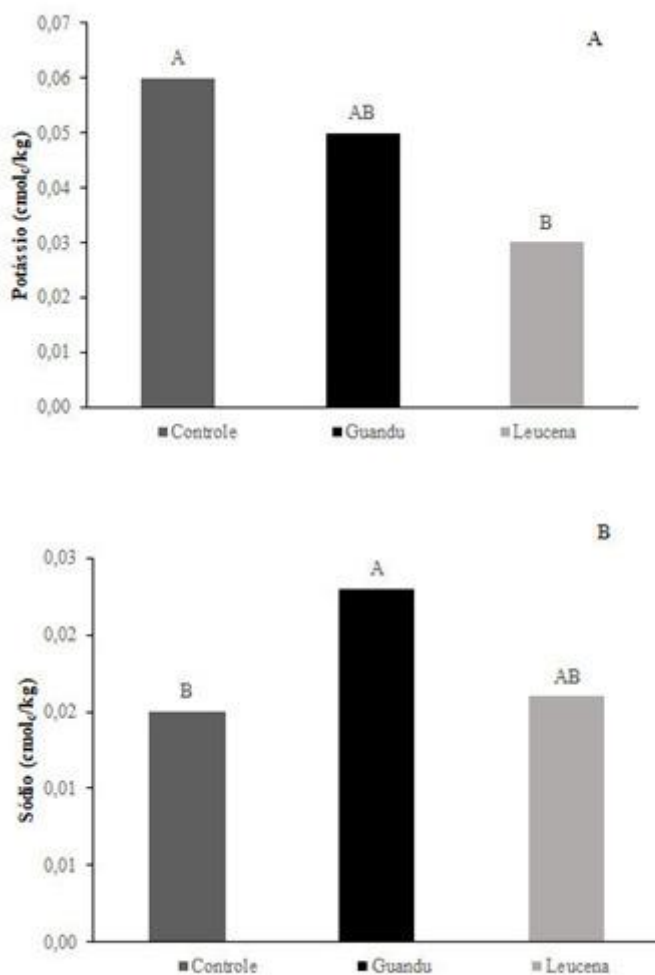
## 4.2 Atributos químicos do solo após a deposição dos resíduos das podas

### 4.2.1 Atributos químicos na camada de 0 a 20 cm após deposição dos resíduos das podas

Na camada de solo de 0 a 20 cm houve interação significativa entre espécies consorciadas e intensidade de poda para os teores de carbono orgânico (CO), fósforo (P), cálcio (Ca), cobre (Cu), bem como para os valores de soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e percentual de saturação por bases (V%) (Figura 24). Os teores de potássio (K) e sódio (Na) no solo variaram significativamente em resposta às espécies consorciadas com *M. oleifera*, enquanto a acidez potencial ( $H^{++}Al^{2+}$ ) e o pH variaram em resposta à intensidade de poda (Figura 23). A análise estatística dos dados pode ser observada no Anexo B onde está o quadro resumo da ANOVA.

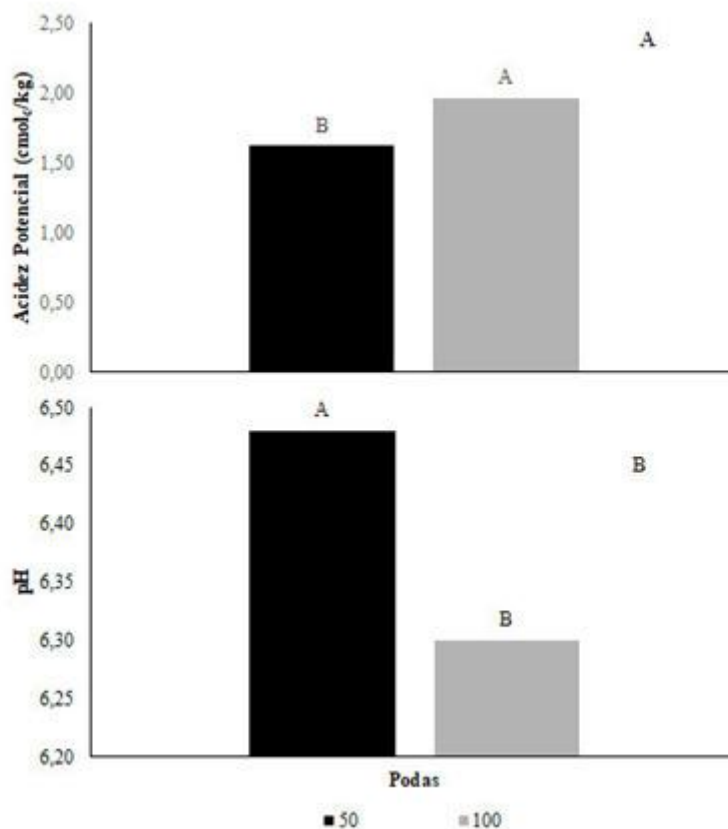
Assim como observado para o acúmulo de nutrientes na biomassa, os teores de potássio (K) no solo após a deposição de resíduos de poda de *C. cajan* e da vegetação espontânea não diferiram significativamente (0,06 e 0,05  $cmol_c kg^{-1}$ , respectivamente). Entretanto, o teor de K no solo sob a influência de *L. leucocephala* (0,03  $cmol_c kg^{-1}$ ) foi significativamente menor em comparação aos outros dois tratamentos (Figura 22A). Os tratamentos com *C. cajan* e *L. leucocephala* não diferiram quanto ao teor de sódio (Na) no solo (0,023 e 0,016  $cmol_c kg^{-1}$ , respectivamente), enquanto que para a vegetação espontânea foi obtido o valor de 0,015  $cmol_c kg^{-1}$  (Figura 22B).

Figura 22 - Valores médios do potássio (A) e sódio (B) no solo na camada 0-20 cm após a deposição da biomassa das leguminosas e da vegetação espontânea (controle) sobre o solo.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0.05$ ).

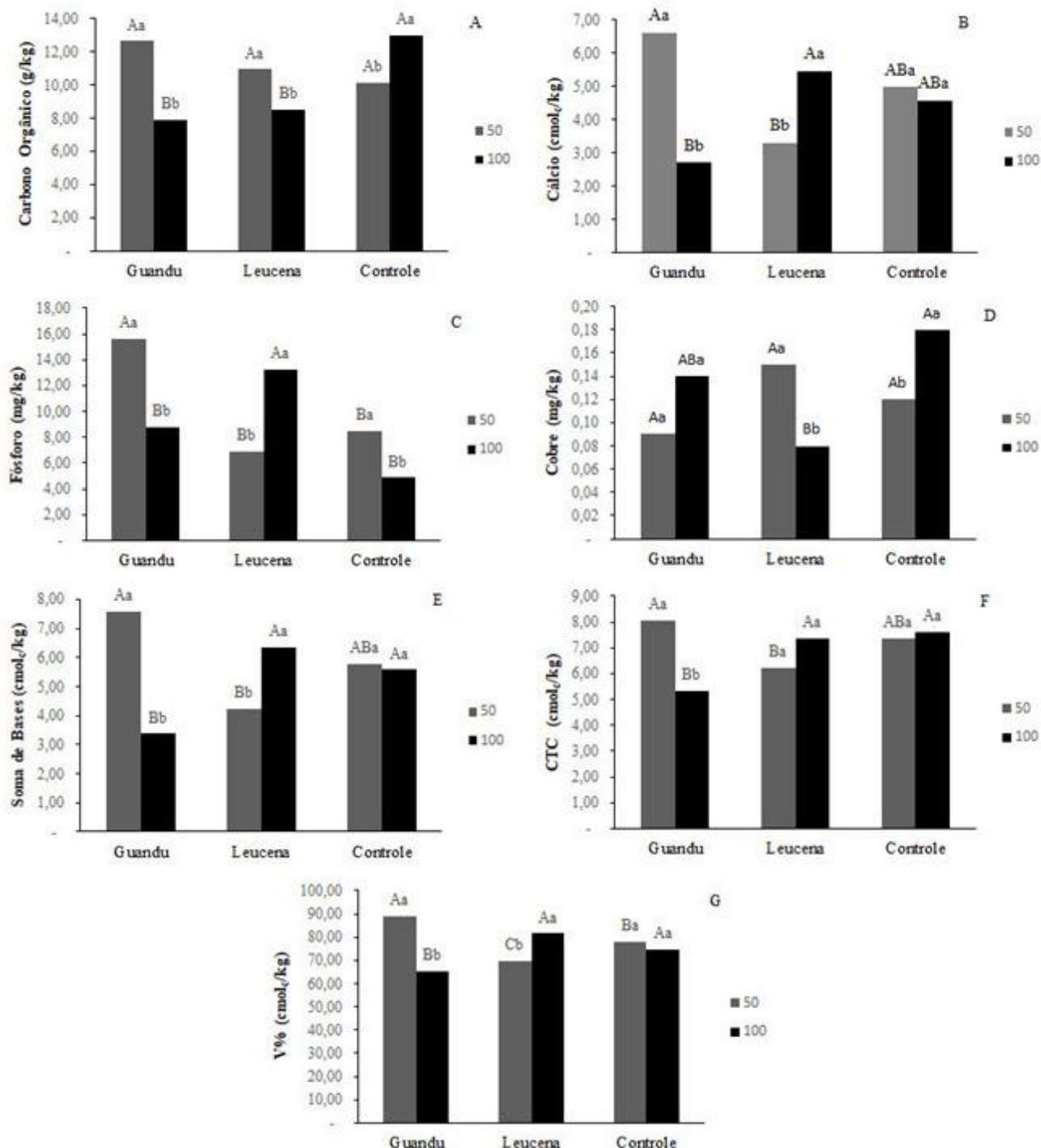
Figura 23 - Valores médios da acidez potencial (A) e do pH (B) no solo na camada 0-20 cm após resposta da intensidade de podas e consequente deposição da biomassa das leguminosas e da vegetação espontânea (controle) sobre o solo.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Não foram observadas diferenças na intensidade de poda para o teor de cálcio (Ca) e para os valores de soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%) no tratamento com vegetação espontânea (Figura 23). A poda de 50% da biomassa resultou nos maiores valores de carbono orgânico (CO) do solo na presença de *C. cajan* (12,63 g kg<sup>-1</sup>) e *L. leucocephala* (10,94 g kg<sup>-1</sup>) (Figura 24A). O maior teor de fósforo (P) no solo foi observado com a poda de 50% de *C. cajan* (15,65 mg.kg<sup>-1</sup>), enquanto para *L. leucocephala* e vegetação espontânea, os valores foram menores (6,92 e 8,45 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente) e não diferiram significativamente entre si (Figura 24C). O maior teor de cálcio (Ca) (6,63 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>), bem como os maiores valores de soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) (7,58 e 8,07 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, respectivamente) e saturação por bases (BS) (88,93%) foram observados com 50% de poda de *C. cajan* (Figura 24). Em contraste, o maior teor de cobre (Cu) no solo (0,18 mg kg<sup>-1</sup>) foi obtido com 100% de poda da vegetação espontânea (Figura 24D).

Figura 24 - Valores médios do carbono orgânico (A) no solo, cálcio (B), fósforo (C), cobre (D), soma de bases (E), CTC (F) e percentual de saturação por base (G) na camada 0-20 cm na interação entre níveis de poda e espécies de leguminosas incluindo a vegetação espontânea.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0.05$ ). Letras minúsculas comparam a poda dentro das espécies e letras maiúsculas comparam entre espécies.

Assim como houve a contribuição do acúmulo do cálcio do *C. cajan* para auxiliar na nutrição mineral da *M. oleifera*, Andrade *et al.* (2025), utilizando diversas culturas de cobertura numa área do Cerrado do Brasil visando aumentar a produtividade da soja em cultivo de sequeiro, detectaram que o cultivo de feijão guandu resultou em maior teor de  $\text{Ca}^{+2}$  ( $1,80 \text{ cmol}_c \text{ dm}^3$ ) no solo. Os teores de Ca no solo observados em resposta aos tratamentos com as diferentes espécies consorciadas não precisam se concentrar somente na camada superficial do solo. Estudo em que o teor de Ca no solo foi avaliado em resposta à presença de leguminosas consorciadas indicou teor na profundidade de 0 a 10 cm ( $2,43 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) significativamente inferior ao das profundidades de 10 a 20 cm ( $2,74 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e de 20 a 30 cm ( $2,77 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), sendo estes iguais entre si ( $p < 0,05$ ) (Nascimento *et al.*, 2003).

No presente estudo o tratamento com *C. cajan* associado a 50% de poda resultou no maior teor de P no solo ( $15,65 \text{ mg kg}^{-1}$  de P). Em outro estudo com características similares, Mayaca *et al.* (2006) mostraram esses benefícios em duas safras de consórcio de milho com *C. cajan* em comparação com o milho solteiro, de modo que o *C. cajan* adicionou até  $60,0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N ao sistema e acumulou até  $6,0 \text{ kg ha}^{-1}$  de P, sendo que 25% desse N e P foram exportados pelos grãos de milho. Além do aumento na produtividade de grãos do *C. cajan* nos sistemas consorciados, a leguminosa aumentou a recirculação de matéria seca, N e P, o que pode ter um efeito a longo prazo na fertilidade do solo.

Contribuindo com as evidências dos efeitos do consórcio com as leguminosas, Heinrichs *et al.* (2005) concluíram que o *C. cajan* forneceu  $21,0 \text{ mg dm}^{-3}$  de P ao solo após deposição da fitomassa, melhorando qualidade do solo e a produção do milho. Nascimento *et al.* (2003), avaliando o efeito de doze leguminosas no solo, constataram que o teor médio de P do solo na profundidade de 0 a 10 cm ( $2,97 \text{ mg dm}^{-3}$ ) foi significativamente superior ( $p < 0,05$ ) ao observado nas camadas mais profundas, indicando que os efeitos da biomassa das leguminosas pode ser mais expressivo somente na camada superficial.

A decomposição dos resíduos do *C. cajan*, da *L. leucocephala* e da vegetação espontânea contribuiu com o fornecimento de elementos ao solo, assim como com a melhoria da qualidade do solo, tanto nos atributos físicos, químicos e biológicos. Adicionalmente, os atributos químicos e biológicos foram influenciados pelas precipitações irregulares no primeiro semestre e ventos fortes no segundo semestre do ano. Diante dessa afirmativa, vale destacar que Linch (1986) descreve que a decomposição dos resíduos vegetais é um processo biológico e depende do tipo de material, da quantidade depositada sobre o solo, do manejo que se realiza com as culturas de cobertura, assim como da condição que o solo se apresenta quanto a acidez e a fertilidade, sofrendo interferências das condições do clima (precipitação pluviométrica,

ventos e temperaturas).

Supõe-se que as leguminosas *C. cajan* e *L. leucocephala* beneficiaram a qualidade do solo mediante deposição dos resíduos de poda. Os benefícios são decorrentes da capacidade de fixar nitrogênio atmosférico que as espécies possuem, assim como pela capacidade de exsudar substâncias na rizosfera, conforme verificado em outros estudos. Biswas *et al.* (2024), fazendo o manejo integrado de nutrientes em sistema de consórcio de aveia e feijão-caupi, constataram economia no orçamento energético do sistema, de modo que sistemas de cultivo à base de aveia foram superiores por gerar menor pegada de carbono e por apresentar eficiência de carbono e índice de sustentabilidade de carbono. No consórcio avaliado pelos autores citados, o potencial de fixação biológica de nitrogênio do feijão-caupi, influenciou o crescimento de ambas as culturas – o que também é uma possibilidade para o presente estudo.

O carbono orgânico aportado ao solo cultivado com *M. oleifera* e espécies consorciadas (Figura 24A) também foi favorável para a melhoria da qualidade do solo. O teor de carbono orgânico no solo foi de 12,63 g kg<sup>-1</sup> para *C. cajan* e 10,94 g kg<sup>-1</sup> *L. leucocephala* no manejo de 50% de plantas podadas. Mas cabe destacar que o carbono no solo também foi resultado da condução anterior da moringa na área de estudo, havendo calagem na implantação do experimento, bem como a deposição da biomassa por dois ciclos, ocorrendo efeito cumulativo para análise que foi realizada em amostras coletadas somente a pós a poda no segundo ciclo.

No escopo do que foi apresentado, Nascimento *et al.* (2003) avaliaram os efeitos de leguminosas nas características químicas e teor de matéria orgânica de um solo degradado no qual foram plantadas doze espécies de leguminosas, incluindo *C. cajan* e *L. leucocephala*. Os autores constataram que a matéria orgânica do solo na profundidade de 0 a 10 cm foi significativamente superior (11,63 g kg<sup>-1</sup>) aos demais valores das profundidades de 10 a 20 cm (10,75 g kg<sup>-1</sup>) e de 20 a 30 cm (8,77 g kg<sup>-1</sup>) evidenciando-se, ainda nesta sequência, tendência de diminuição com o aumento da profundidade.

Em outro estudo em que leguminosas anuais foram utilizadas em sistema consorciado, o maior teor de carbono orgânico no solo foi de 22,67 g kg<sup>-1</sup> em área cultivada com mucuna anã na profundidade de 0 a 5 cm (Silva *et al.*, 2009).

Dada a satisfatória formação de raízes e biomassa das leguminosas consorciadas com a moringa no presente estudo, houve condição favorável aos microrganismos do solo, colaborando para disponibilidade de outros nutrientes. A presença de microrganismos solubilizadores de fosfato, que pode ser favorecida mediante presença de *C. cajan* (Abboud, 1986) está associada a melhorias da qualidade do solo, aumentando a disponibilidade de nutrientes, especialmente nas camadas mais superficiais do solo, no qual há predominâncias dos pelos radiculares absorventes. Mesmo em solo arenoso, a exemplo do solo utilizado neste estudo, há ocorrência de maior incorporação dos elementos ao longo do tempo de cultivo, sendo esse fenômeno promovido pelo manejo adotado nos anos de cultivos da moringa. No que diz respeito aos micronutrientes no solo, maior teor de cobre (Cu) no solo ( $0,18 \text{ mg kg}^{-1}$ ) foi observado em resposta a 100% de poda da vegetação espontânea (Figura 24D).

#### **4.2.2 Atributos químicos na camada de 20 a 40 cm após deposição dos resíduos das podas.**

Para a camada de 20 a 40 cm houve resposta às espécies como fator de tratamento isolado que alterou os teores de Ca no solo, bem como os valores de H+Al, SB, CTC e V% (Figura 25). A interação entre os fatores de tratamento foi observada para teores de carbono orgânico e Mn no solo (Figura 25). A análise estatística dos dados pode ser observada no Anexo B onde está o quadro resumo da ANOVA.

O cálcio acumulado (Figura 25A) no solo como resultado da aplicação do calcário no início do experimento e da decomposição da biomassa depositada sobre o solo por dois ciclos, apresentou melhor resultado para a vegetação espontânea com valor médio de  $3,24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , no solo cultivado com *C. cajan* o teor de Ca foi de  $2,11 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  e para a *L. leucocephala* foi constatado o menor teor de Ca ( $1,88 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) Todos os teores registrados foram inferiores ao observado na camada de 0 a 20 cm.

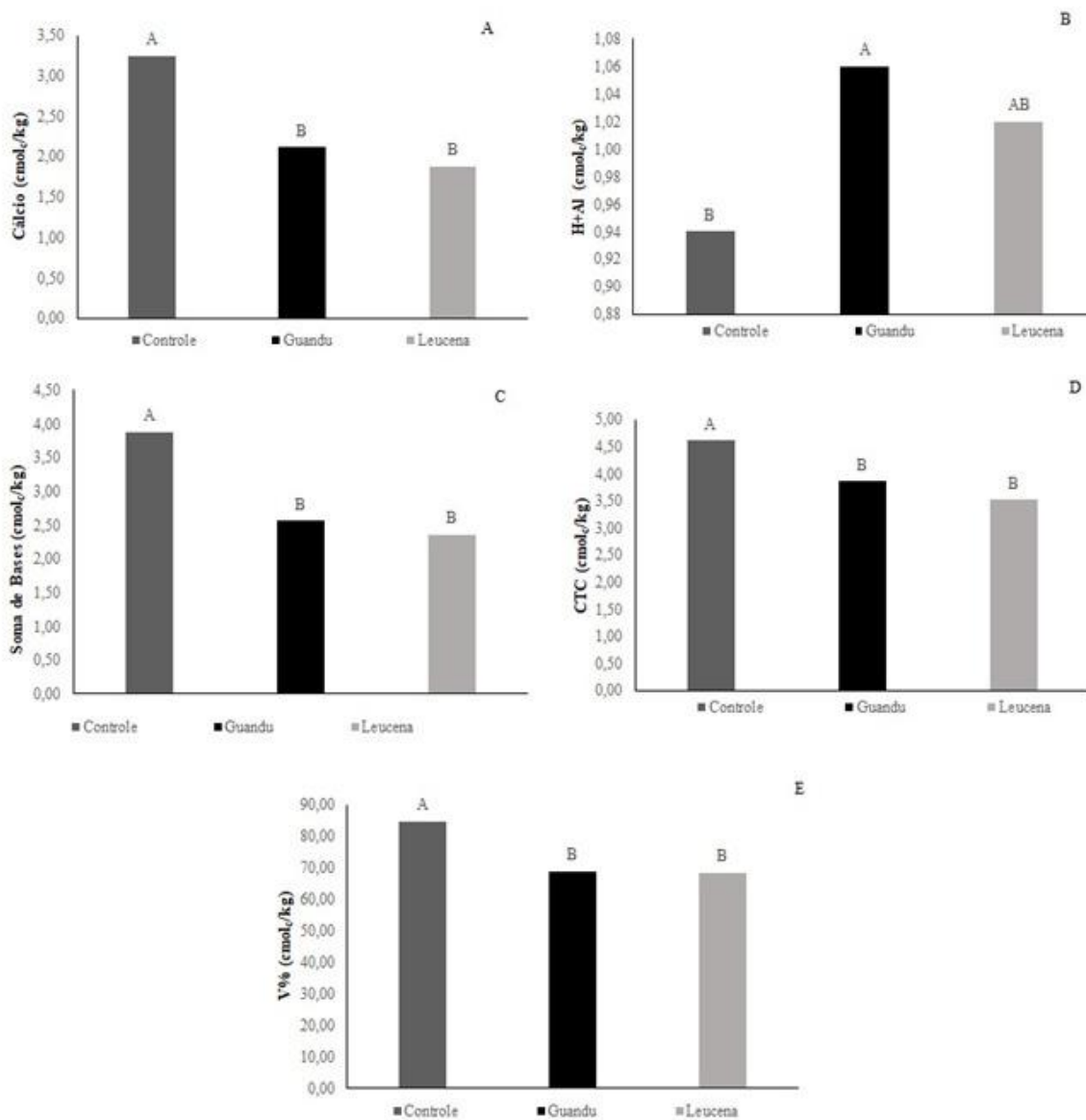
O teor de manganês no solo (Figura 26B) foi 36,36 mg kg<sup>-1</sup> para o *C. cajan*, seguido pelo teor observado na área de influência da *L. leucocephala* (32,38 mg kg<sup>-1</sup>) e, por último, para a *L. leucocephala* (31,21 mg kg<sup>-1</sup>). Apesar dos teores de Mn no solo não serem considerados tóxicos, é importante destacar que, uma vez em excesso, o manganês pode ser prejudicial à planta, afetando o desenvolvimento de micorrizas, podendo interferir na fotossíntese e, conseqüentemente, no crescimento do vegetal.

O acúmulo de Mn na superfície dos esporos de fungos micorrízicos arbusculares pode se constituir num dos mecanismos para conferir maior tolerância da *L. leucocephala* ao manganês, uma vez que, esse fato coincidiu diretamente com o melhor desenvolvimento das plantas, incremento nutricional, redução do Mn na parte aérea e no percentual foliar de toxidez (Garcia, 2019). Como no estudo do consórcio da moringa com a *L. leucocephala* houve incremento de Mn no solo, esse resultado deve ser utilizado para viabilizar a oferta desse micronutriente no manejo nutricional da cultura principal.

No consórcio da *M. oleifera* com o *C. cajan* a leguminosa contribuiu com Mn aportando ao solo o nutriente em profundidade. Também deve-se levar em consideração a calagem realizada no início do experimento, contribuindo para a elevação da CTC e V% do solo e interferindo no aporte do Mn.

Os valores médios da acidez potencial do solo (H+Al) sob influência do *C. cajan* foi maior (1,06 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>), seguido pelo valor resultante do tratamento com leucena (1,02 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) e, por último, do tratamento controle da vegetação espontânea (0,94 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>). Obteve-se resultados da soma de bases, CTC e saturação de bases (V%), cujos valores médios nas parcelas com *C. cajan* foram, respectivamente, 2,56 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 3,86 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> e 68,82%. Para a *L. leucocephala* os valores médios dos atributos mencionados foram 2,35 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 3,52 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> e 68,41%. O tratamento controle se destacou em relação às leguminosas em todos os atributos mencionados, com os valores 3,88 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 4,61 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> e 84,62% de SB, CTC e V%, respectivamente (Figura 25). Percebe-se com os resultados uma regulação da acidez do solo por parte das leguminosas e da vegetação espontânea.

Figura 25 - Valores dos teores de cálcio (A), valores de acidez potencial (H+Al) (B), soma de bases (SB) (C), CTC (D) e saturação por bases (V%) (E) na camada de 20-40 cm do solo que recebeu resíduos de espécies de leguminosas (guandu e leucena) e da vegetação espontânea.

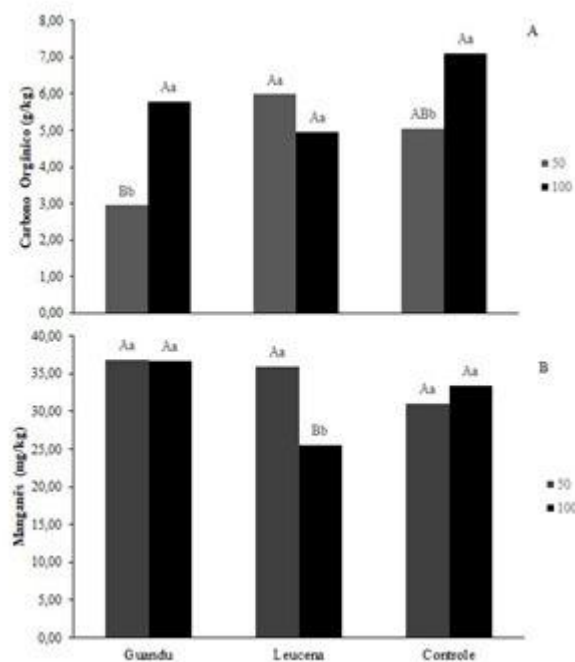


Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Na interação entre níveis de poda e as espécies, o teor de carbono orgânico (CO) resultante do tratamento com *L. leucocephala* e 50% de poda foi 5,99 g kg<sup>-1</sup>. Nesse mesmo manejo obteve-se para o tratamento controle 5,05 g kg<sup>-1</sup> e para o guandu o valor de 2,95 g kg<sup>-1</sup> apenas (Figura 26A). Porém, quando se observou os valores médios do CO para o manejo de poda de 100% das plantas da área, a vegetação espontânea se evidenciou em relação aos demais tratamentos com o valor de 7,11 g kg<sup>-1</sup>, seguidos do valor do guandu com 5,79 g kg<sup>-1</sup> e a leucena com 4,95 g kg<sup>-1</sup>. Deste modo, de todos os fatores envolvidos, destaca-se a vegetação espontânea resultando no maior teor de CO na subsuperfície.

O maior teor de CO na subsuperfície do solo no tratamento com vegetação espontânea deve-se ao maior volume de biomassa depositado sobre o solo e proveniente das raízes em decomposição em relação às leguminosas. Na área experimental o cultivo com *M. oleifera* já era praticado a 4 anos, de modo que houve deposições anteriores de resíduos vegetais e incorporação do material ao solo. Anualmente, na propriedade havia incorporação da vegetação espontânea, aplicação de adubos químicos e de calcário, práticas desenvolvidas no solo arenoso que proporcionavam infiltração do CO em profundidade

Figura 26 - Teores de CO (A) e Mn (B) na camada de 20-40 cm do solo, em resposta à interação entre espécies consorciadas com a moringa (guandu e leucena) e a vegetação espontânea e duas intensidades de poda (50 e 100%).



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0.05$ ). Letras minúsculas comparam a poda dentro das espécies e letras maiúsculas comparam as espécies.

No estudo desenvolvido, houve contribuição em CO ( $5,79 \text{ g kg}^{-1}$ ) na camada de 20 a 40 cm de profundidade do solo, no manejo do guandu consorciado com a moringa submetido a poda de 100% das plantas (Figura 26A), reforçando a peculiar propriedade do sistema radicular pivotante do guandu atuar em camadas mais profundas. Contudo, comparando o consórcio da moringa com guandu, Witcombre *et al.* (2023), avaliando a contribuição para a qualidade do solo, identificou que ocorreu maior acúmulo de carbono orgânico no tratamento usando a rotação do *C. cajan* com amendoim entre fileiras de milho, obtendo valores de  $14,6 \text{ g kg}^{-1}$ ,  $12,7 \text{ g kg}^{-1}$  e  $8,26 \text{ g kg}^{-1}$  em diferentes regiões da África.

Quanto ao manganês, a interação entre os dois manejos de poda (50% e 100%) com o *C. cajan* proporcionou ao solo  $36,91 \text{ mg kg}^{-1}$  na poda de 50% , enquanto para a poda de 100% o teor foi de  $36,76 \text{ mg kg}^{-1}$ , não havendo diferença estatística. *L. leucocephala* se destacou mediante poda de 50% das plantas, resultando em  $35,96 \text{ mg kg}^{-1}$  de Mn no solo, enquanto o manejo de 100% de poda resultou em  $25,51 \text{ mg kg}^{-1}$  de Mn no solo. O tratamento controle com 50% de poda resultou em menor teor de Mn no solo ( $31,09 \text{ mg kg}^{-1}$ ), enquanto a poda de 100% das plantas resultou em  $33,47 \text{ mg kg}^{-1}$  do micronutriente no solo (Figura 26B). Salienta-se que os manejos de 50% de plantas podadas para o guandu e 100% para a leucena resultaram nos maiores valores de Mn no solo, porém não diferiram significativamente entre si.

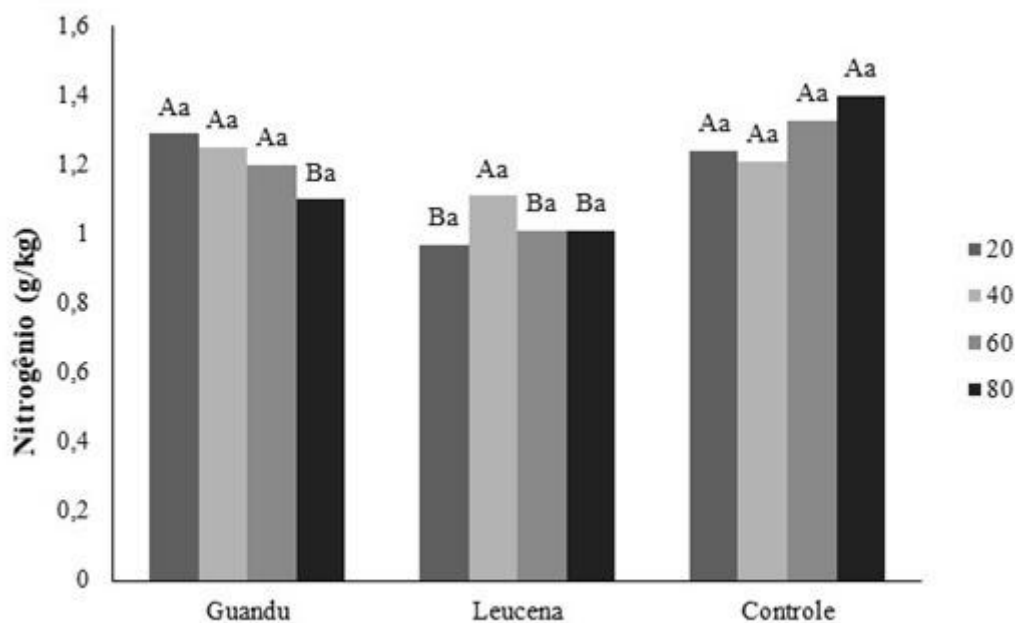
Os atributos calculados SB, CTC e V% também responderam aos tratamentos na camada subsuperficial, a exemplo do observado em outro estudo em que a *L. leucocephala* foi comparada a outras leguminosas e se destacou, apresentando valores superiores ao observado no tratamento controle sem leguminosas (Nascimento *et al.*, 2003).

Evidencia-se no estudo que as leguminosas auxiliam no melhor condicionamento do solo contribuindo para o desenvolvimento da moringa, caracterizada pelos valores obtidos da V% de 68,82% para o guandu e 68,41% para a leucena. Embora o guandu tenha proporcionado ganhos com os atributos do solo quando consorciado com a moringa, a leucena obteve melhor resultado no aumento da produção de sementes de moringa. Dado robusto desenvolvimento radicular das leguminosas, os resultados alcançados trouxeram melhorias tanto na camada superficial do solo como em profundidade, tendo o incremento de nutrientes potencializados com o manejo das podas e deposição da biomassa sobre o solo.

#### **4.2.3 Resultado da análise de N na profundidade do solo de 0 a 10 cm em relação à distância (20, 40, 60 e 80 cm) das leguminosas em relação às plantas de moringa**

Avaliando os teores de N total no solo (Figura 27), concluiu-se que houve interação das espécies com as distâncias, tendo os maiores valores individuais (1,6039 g kg<sup>-1</sup> e 1,4406 g kg<sup>-1</sup>) observados nas distâncias de 20 cm e 40 cm, respectivamente, para a *M. oleifera* consorciada com o *C. cajan*. Os menores teores de N (0,9025 g kg<sup>-1</sup> e 0,9244 g kg<sup>-1</sup>) foram encontrados na área da *M. oleifera* consorciada com *L. leucocephala*. Contudo, na média geral dos valores, o tratamento controle se destacou em relação as leguminosas na distância de 80 cm (1,40 g kg<sup>-1</sup>) e 60 cm (1,33 g kg<sup>-1</sup>), seguido pelo *C. cajan* nas distâncias de 20 cm (1,29 g kg<sup>-1</sup>) e 40 cm (1,25 g kg<sup>-1</sup>).

Figura 27 - Nitrogênio total dos solos próximo às raízes dos tratamentos das leguminosas consorciadas com a moringa e a vegetação natural, com amostras coletadas na distância de 20, 40, 60 e 80 cm da planta de moringa.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0.05$ ). Letras maiúsculas comparam espécies dentro as distâncias e letras minúsculas comparam as espécies.

Fonte: O próprio autor (2023).

As amostras para esta avaliação foram coletadas após sete meses e vinte e cinco dias da primeira poda nas leguminosas e vegetação espontânea, tendo transcorrido tempo suficiente para contribuições da primeira poda aos atributos do solo. Por outro lado, a primeira poda foi pouco representativa em virtude do menor aporte de biomassa como resultado desenvolvimento insatisfatório das plantas decorrente das baixas precipitações pluviométricas.

A coleta foi realizada no período chuvoso que proporcionou o umedecimento do solo e estimulou o desenvolvimento radicular e a produção de biomassa pelas plantas. As leguminosas estavam com massa vegetativa bem formada, entrando em condições para realização da segunda poda. Nesse período, o *C. cajan* se destacou com a formação de biomassa, produção de vagens e deposição de resíduos sobre o solo, enquanto a leucena apresentou porte inferior em relação ao guandu e a vegetação espontânea apresentou bom desenvolvimento devido sua adaptação às condições naturais da região. Desse modo, considera-se que as contribuições do teor de N nas diferentes distâncias das leguminosas em relação à *M. oleifera* foi resultado do desenvolvimento vegetal ocorrido após a primeira poda.

Apesar das intempéries, o *C. cajan* destacou-se no sistema consorciado de cultivo, elevando seu potencial melhorador do solo no segundo ano. Porém a *L. leucocephala* não proporcionou superior aporte de nitrogênio devido ao seu menor tamanho vegetativo e tardio crescimento consequente do déficit hídrico.

O destaque do *C. cajan* consorciado com a moringa assemelha-se ao encontrado em estudo de estratégias de recuperação de pastagens degradadas para aumento do sequestro de carbono no solo, no qual o consórcio com *C. cajan* influenciou o teor de N no solo até a profundidade de 40 cm (Oliveira *et al.*, 2024).

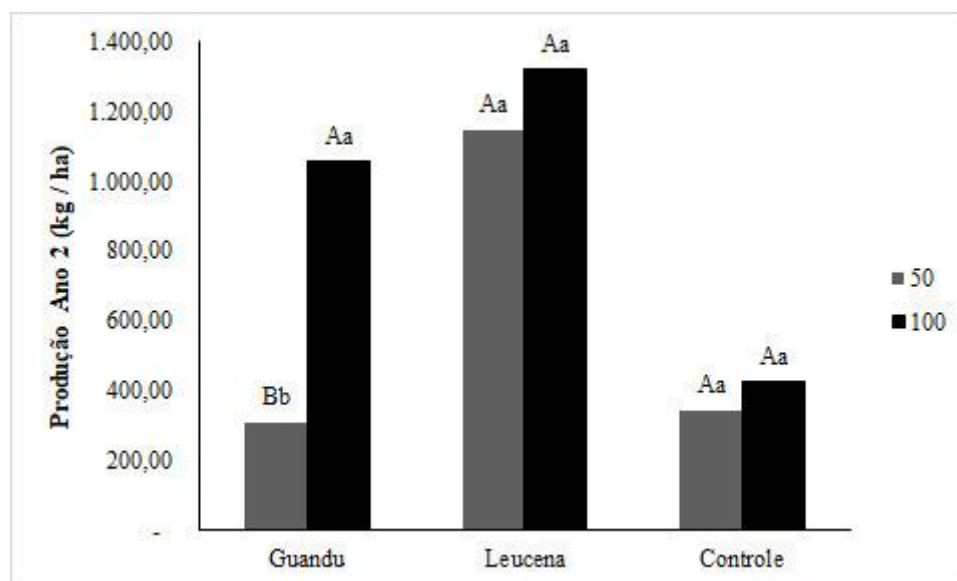
O presente estudo identificou que a *L. leucocephala* consorciada com a moringa proporcionou menor aporte de N em relação ao *C. cajan.*, relacionado a esse resultado, Kumar *et al.* (1998) mostrou que a *L. leucocephala* também pode contribuir com o aumento do teor de N ao solo quando utilizada em sistema consorciado.

### **4.3 Produção de sementes de moringa, óleo de moringa, grãos de guandu e forragem da leucena**

#### **4.3.1 Produção de sementes de moringa**

Não houve diferença significativa na produção de sementes de *M. oleifera* e dos grãos de *C. cajan* no primeiro ano, havendo significância somente no segundo ano (Anexo C). A maior produtividade de sementes de *M. oleifera* foi observada com 100% de poda em *L. leucocephala* e *C. cajan* (1.319,0 e 1.055,75 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente) (Figura 27), sem diferença significativa entre as duas espécies. Com 50% de poda, o consórcio com *L. leucocephala* resultou em maior produção de sementes (1.145,75 kg ha<sup>-1</sup>), enquanto *C. cajan* apresentou menor produtividade (308,50 kg ha<sup>-1</sup>), não diferindo significativamente da produtividade obtida com vegetação espontânea (346,25 kg ha<sup>-1</sup>).

Figura 28 - Produção (kg/ha) de sementes de *M. oleifera* no segundo ciclo de cultivo consorciado com leguminosas sob o efeito da poda de 50% e 100% das plantas consorciadas e da vegetação do tratamento controle.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0.05$ ). Letras minúsculas comparam a poda dentro as espécies e letras maiúsculas comparam as espécies.  
 Fonte: O próprio autor (2023)

O destaque da maior produção das sementes de *M. oleifera* consorciada com a *L. leucocephala*, tanto com o manejo de 50% e 100% de plantas podadas, é justificado pela interação compatível da leguminosa com a moringa, com seu profundo sistema radicular que melhora a qualidade do solo e devido a menor competição com as plantas de *M. oleifera*. Outro fator importante que ajudou na redução da competição com a *M. oleifera* nas parcelas do consórcio com a *L. leucocephala* foi a condução dos tratos culturais, mantendo o solo com a vegetação espontânea sempre controlada dentro desse tratamento experimental, evitando competição por nutrientes e água. O *C. cajan* resultou em maior adensamento de plantas entre as moringas e maior porte de planta fornecendo sombra, promoveu menor produtividade da *M. oleifera* nos dois tipos de manejo de poda. Da mesma forma, a vegetação espontânea resultou em menor produção de sementes de moringa em relação ao consórcio com a leucena, impactando com a competição por mais nutrientes e água.

Motis *et al.* (2017) avaliaram a produtividade da *M. oleifera* consorciada com hortaliças e as leguminosas feijão caupi (*Vigna unguiculata* 'ITD98'), feijão-de-porco (*Canivalia ensiformis*), lablab (*Lablab purpureus* 'Highworth') e guandu (*C. cajan* 'Kranti') semeadas embaixo das árvores de *M. oleifera*. A produção total de folhas de *M. oleifera* em pó do ciclo 2 (223-279,0 kg ha<sup>-1</sup>) e do ciclo 3 (314-466,0 kg ha<sup>-1</sup>) não foi afetada pelas leguminosas

do ciclo 2 A produtividade da *M. oleifera* no quarto ciclo, no entanto, foi menor (191-340,0 kg ha<sup>-1</sup>) do que a observada sem leguminosas (473,0 kg ha<sup>-1</sup>). Segundo os autores, a poda da moringa acima de 1,0 m é sugerida para minimizar os efeitos adversos da competitividade das leguminosas com a moringa.

Para analisar a maior produção da *M. oleifera* consorciada com a *L. leucocephala* também é importante observar que o acúmulo de nutrientes na biomassa das plantas consorciadas (Figuras 19 e 20) com a *M. oleifera* foi maior para o *C. cajan* comparado à *L. leucocephala*, indicando que *C. cajan* foi mais expressivo na extração de nutrientes e água do solo, provavelmente dificultando as condições para o pleno desenvolvimento da *M. oleifera*. Nas áreas que apresentaram o *C. cajan* com 100% de poda e *L. leucocephala* com 50 e 100% de poda os teores de nutrientes no solo (Figura 24) foram menores em relação ao observado nas demais áreas, podendo ser reflexo do melhor desenvolvimento da *M. oleifera* que absorveu mais água e nutrientes nessas parcelas.

A ausência de resposta de produção no primeiro ano do estudo se deve à precipitação insuficiente e irregular ocorrida no período de 2021 a 2023 (Figura 5). Em 2021 houve déficit hídrico (chuvas irregulares), afetando a floração e frutificação da moringa e das leguminosas. Nos anos de 2022 e 2023 as chuvas foram mais satisfatórias, concentrando-se entre os meses de janeiro a maio, com precipitações ocorrendo ainda em junho.

Os meses entre julho e dezembro foram os mais críticos em déficit hídrico, gerando estresse hídrico para a *M. oleifera*, o que estimulou a floração das plantas entre os meses de setembro e outubro, com frutificação acontecendo entre os meses de novembro, dezembro e janeiro.

O déficit hídrico pode ocorrer, principalmente em região de clima subúmido seco como o que foi feito o estudo. Havendo escassez de água, espécies consorciadas com a cultura principal que competem por água, podem comprometer a cultura principal de maneira mais intensa. Com isso, Dave *et al.* (2024), destacam que ondas de calor, precipitação alterada e secas recorrentes diminuem os rendimentos das leguminosas, a qualidade das sementes e os níveis de nitrogênio do solo em todo o mundo. Promovem também a proliferação de pragas de leguminosas e doenças fúngicas que representam riscos significativos. O estresse térmico afeta o desenvolvimento do grão, reduzindo o suprimento de nutrientes para o micrósporo, levando à deiscência prematura da antera, que controla a síntese e distribuição de carboidratos para o grão, tudo isso contribuindo para uma redução no rendimento.

As plantas de moringa em estudo já continham 4 anos de cultivo quando o experimento iniciou, apresentando sistema radicular desenvolvido e adaptado para a produção nas condições de solo arenoso e de precipitações irregulares. Com essa idade as plantas apresentavam maturação para produção, gerando maior quantidade de vagens e de sementes por vagem. Considerando o registro da maior produção média entre os tratamentos, no valor de 1.319 kg ha<sup>-1</sup> de sementes de *M. oleifera* consorciada com *L. leucocephala* com 100% de poda, tendo como indicadores 13 sementes por vagem e 3.700 sementes por quilo de moringa registrados na área de cultivo comercial.

Embora a espécie de moringa produzida no experimento não seja uma cultivar melhorada, não tendo nenhuma relação com as cultivares melhoradas na Índia, possuem boa adaptação às condições de clima e de solo do Ceará. Percebe-se ao longo dos anos de condução das árvores de moringa que a produção se incrementou com o avançar dos anos. Já Ponnuswami, (2002), relata que as variedades de moringa PKM 1 e PKM 2 desenvolvidas por meio de hibridação, produzem em média 220 vagens por planta. Já a variedade KM 1 pode chegar a produzir 400 a 500 vagens por planta. Em geral, as variedades de moringa nos primeiros 2 anos produzem cerca de 80 a 90 vagens por planta, porém após o quarto ano podem ultrapassar a produção de 400 a 500 vagens por planta.

Nesse mesmo contexto, a produção nos dois primeiros anos de *M. oleifera* é baixa; no entanto, a partir do terceiro ano, uma planta pode produzir 600 ou mais vagens por ano (Ramchandran *et al.*, 1980). Em destaque, coloca-se a variedade de *M. oleifera* MOMAX3 que pode produzir de 5 a 9 Mg ha<sup>-1</sup> de sementes por hectare, com sementes mais pesadas desenvolvidas com foco na produção de óleo para biocombustível (Advanced Biofuel Center, 2024).

### 4.3.2 Produção de óleo de moringa

Considerando que na área de cultivo comercial de sementes de *M. oleifera* onde foi realizado o presente estudo, o rendimento foi de 6,0 kg para produzir 1,00 L de óleo, estimou-se que o consórcio com a *L. leucocephala* promoveu produção em 219,83 L de óleo de *M. oleifera*, enquanto que o consórcio com *C. cajan* e o tratamento controle resultaram em 175,95 L e 57,70 L de óleo, respectivamente. A produção de óleo de *M. oleifera* consorciada com *L. leucocephala* foi 3,8 vezes maior do que o produzido na interação da moringa com a vegetação espontânea.

A qualidade do óleo de *M. oleifera* produzido na área experimental manteve-se quando comparada aos aspectos do óleo oriundo de plantas manejadas nas áreas circunvizinhas sem conter o consórcio com plantas leguminosas (Tabela 4).

Tabela 4 - Resultado das análises de óleo de moringa comparando a área cultivada em consórcio com leguminosas e sem o consórcio.

Nº	CONSÓRCIO COM LEGUMINOSA	ANO	QUADRA	RESULTADOS					
				CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS	COR	ODOR	DENSIDADE RELATIVA (g/mL)	ÍNDICE DE ACIDEZ (mg NaOH/g)	ÍNDICE DE REFRAÇÃO
1	não	2021	4	Líquido transparente	Amarelo ouro	Característico	0,9100	0,1040	1,4350
2	não	2021	6	Líquido transparente	Amarelo ouro	Característico	0,9100	0,0920	1,4350
3	sim	2023	4	Líquido translúcido	Amarelo	Característico	0,9089	0,5700	1,4661
4	não	2023	6	Líquido translúcido	Amarelo	Característico	0,9088	0,2300	1,4661
<b>MÉDIA</b>							<b>0,9094</b>	<b>0,2490</b>	

Fonte: O próprio autor (2023)

Os valores dos atributos de qualidade do óleo de *M. oleifera* produzido na área experimental foram próximos ao observado em estudo com óleos extraídos das sementes das regiões de Aracajú, Macéio e Maringá. O índice de acidez foi igual a 0,21 mg KOH g<sup>-1</sup>, índice de refração de 1,421 e 0,9071 g cm<sup>-3</sup> de densidade. Salienta-se que as poucas variações dos indicadores medidos ocorrem devido ao tipo de solo, manejos adotados, armazenamento e maturação das sementes. Parte dos óleos analisados foram extraídos da semente a frio e outra parte extraído com uso do solvente via Soxhlet (Barba, 2023). Há estudo em que os índices de acidez e de refração foram de 2,10 mg KOH g<sup>-1</sup> e 1,33, respectivamente (Viana *et al.*, 2023). Essa diferença pode ser decorrente da qualidade do óleo, do manejo que as plantas foram submetidas e do método de extração do óleo.

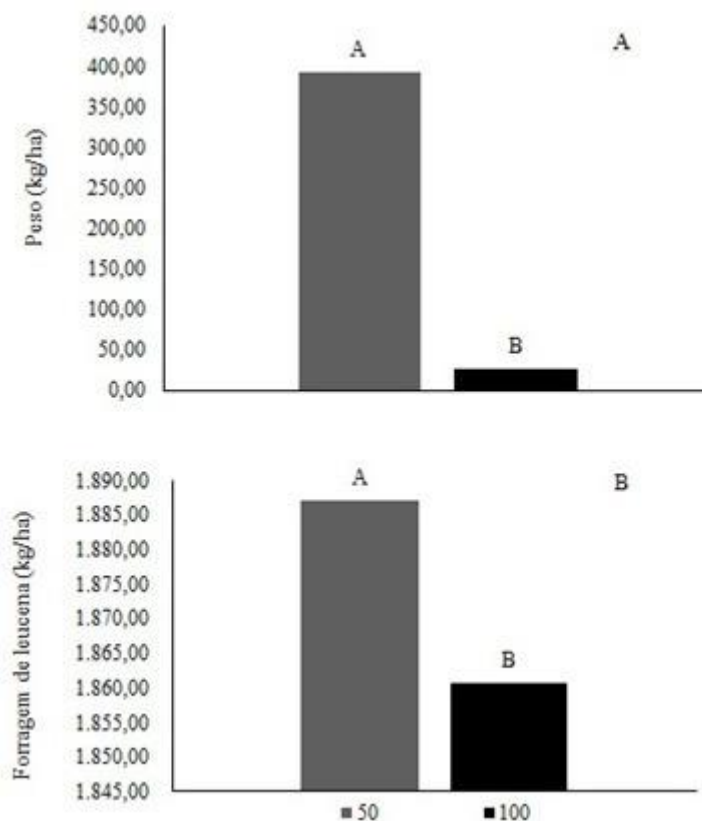
### 4.3.3 Produção de grãos de guandu e forragem da leucena.

A produção de grãos de diferiu significativamente somente no segundo ano e para a porcentagem de poda como fator de tratamento isolado (Anexo D). O tratamento cuja área sofreu poda em 100% das plantas teve produção inferior (58,33 kg ha<sup>-1</sup>) ao tratamento em que foi aplicada poda de 50% das plantas (393,25 kg ha<sup>-1</sup>), conforme apresentado na Figura 28A. Os grãos produzidos podem ser utilizados tanto para consumo humano quanto animal. Nas parcelas com *L. leucocephala*, foram produzidos 1.887,20 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 28B) de biomassa após o tratamento com plantas podadas em 50%, com potencial de aproveitamento como forragem. Os resultados da competição do *C. cajan* com *M. oleifera* também foram percebidos nas plantas de *C. cajan* que sofreram estiolamento da planta. Porém, as áreas que tiveram 50% das plantas podadas tiveram melhor desenvolvimento da biomassa e produção de grãos em maior intensidade que as áreas que tiveram 100% de poda das plantas.

A sombra proporcionada pela *M. oleifera*, em determinado momento favoreceu o apodrecimento de parte das plantas podadas de *C. cajan* devido a a redução na incidência dos raios solares em determinados momentos do dia. Foi necessária a aplicação da calda sulfocálcica para controlar o mofo cinzento (*Botrytis cinerea*) que surgia no *C. cajan*, causando queda de algumas vagens e grãos danificados impróprios para consumo. Destaca-se a ausência de rebrota dos ramos das plantas que foram submetidas ao manejo de 100% de plantas podadas, observando-se em campo a ocorrência de fungos nessas plantas remanescentes. Já no tratamento com 50% de poda, houve maior quantidade de plantas íntegras, preservando consideravelmente a produção de novas vagens e grãos de *C. cajan*, impedindo a formação de esporos de fungos ou facilitando o controle das enfermidades e pragas.

A biomassa da leucena produzida (Figura 28B) e depositada sobre o solo, comportou-se de maneira satisfatória contribuindo para o fornecimento de nutrientes quando conduzida com podas, conseqüentemente promovendo redução de adubos na cultura consorciada, gerando redução de custos e melhor rendimento. Desta maneira, observando esse aspecto produtivo, Chaves (2001), comprovou que a leucena utilizada como adubação verde, depositando sobre o solo a biomassa podada, proporcionou maior produção de café.

Figura 29 - Produtividade de grãos de *C. cajan* (A) e biomassa de *L. leucocephala* (kg ha<sup>-1</sup>) (B) em resposta às intensidades de poda (50 e 100%) no segundo ano do sistema consorciado com *M. oleifera*.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Fonte: O próprio autor (2023)

O *C. cajan* consorciado com a moringa seguindo manejo de podas produziu nas condições de solo arenoso, menos ( $393,25 \text{ kg ha}^{-1}$ ) do que se fosse cultivado sem o consórcio. Comparando o dado obtido na tese, avaliando o desenvolvimento de variedades de *C. cajan*, mostrou-se que a produção média mundial do guandu chega a  $746,00 \text{ kg ha}^{-1}$  (Saxena *et al.*, 2018).

A cultura principal do consórcio avaliado no presente estudo foi a *M. oleifera*, produzindo sementes, óleo e outras possibilidades de sustentabilidade do agroecossistema. O estudo forneceu mais possibilidades de receitas com a produção da *M. oleifera* e do *C. cajan*, diversificando e valorizando o uso da terra, mesmo sendo cultivado em solo arenoso, onde foram utilizadas calagem e adubação fosfatada. Em caso de monocultivo, foi verificado o efeito do manejo integrado de nutrientes no desempenho do feijão-guandu (*Cajanus cajan*) em cultivo único e consorciado em condições de sequeiro, num solo franco-argiloso arenoso, obtendo

bons resultados cuja diferença quantitativa na produtividade de sementes foi de 900 kg ha<sup>-1</sup>. Em termos percentuais foi de 74,7% devido à aplicação de 100% da dose recomendado do fertilizante mais 50% da dose recomendada do vermicomposto, adicionado de 5,0 kg ha<sup>-1</sup> de Zn em relação à testemunha, atingindo-se produção máxima de 2,10 Mg ha<sup>-1</sup> de grãos de feijão-guandu e o tratamento controle com 1,20 Mg ha<sup>-1</sup>. O uso combinado de adubo orgânico com fertilização inorgânica balanceada, proporcionou incremento da atividade fotossintética e consequente aumento da produtividade. (Kumawat *et al.*, 2013).

Conforme observado na tese, o *C. cajan* produziu biomassa satisfatória consorciado com a moringa, sendo uma alternativa para a arração animal. Neste aspecto, Tulu *et al.* (2024), através da produção de *C. cajan*, alimentaram cordeiros com a leguminosa em forma de feno juntamente com *Lablab purpureus*, adicionados ao feno de aveia forrageira. Deste modo, houve suporte no atendimento à necessidade de proteína bruta para manutenção e crescimento de cordeiros Horro, comparando-se com a dieta mista concentrada convencional. Os autores indicaram o valor alimentar comparativo da forragem leguminosa como fonte de proteína para melhor desempenho animal, empregando as variedades *Lablab purpureus* (Gebis-17 e Beresa-55) ou *C. cajan* (Degagsa e Belabas) na suplementação alimentar dos cordeiros.

Apesar do foco do estudo ter sido avaliar o resultado da leguminosa impactando a produção da *M. oleifera*, vale destacar que o contrário também pode acontecer. Ou seja, a *M. oleifera* contribuir também com o desenvolvimento das culturas cultivadas no seu entorno, pois possui vigoroso sistema radicular tuberoso, que libera exsudatos e proporciona resistência e adaptabilidade da planta, atribuindo melhor condicionando do solo. Contudo, há estudo em que o cultivo de *M. oleifera* foi consorciada com soja em Abuja-Nigéria, no qual não foi observada melhoria em atributos químicos do solo nos primeiros meses após o estabelecimento das plantas. No entanto, na segunda safra que ocorreu no ano de 2015, a produtividade da soja consorciada com a *M. oleifera* foi 30% maior do que o obtido na parcela de cultivo único (Abdullahi *et al.*, 2017).

#### 4.4 Análise do custo de produção e das receitas

O primeiro ano foi de implantação da área e devido às baixas precipitações as plantas não tiveram bom desenvolvimento. Com isso, os dados de produção foram obtidos para análise a partir do segundo ano. No primeiro ano houve investimentos apenas nos sistemas consorciados, atingindo US\$ 4,100.00 ha<sup>-1</sup> de custos de produção nas áreas com *M. oleifera* consorciada com *C. cajan* e *L. leucocephala* (Tabela 5). No tratamento controle não foram registrados custos de implantação ou manutenção do sistema consorciado.

Com base nos dados do segundo ano de produção, a maior receita com a venda de produtos foi obtida no sistema consorciado de *M. oleifera* com *L. leucocephala* sob intensidade de poda de 100% (US\$ 14,552.53), enquanto a menor receita (US\$ 3,568.74) foi registrada no tratamento controle com poda de 50% (Tabela 5). Após a dedução dos custos de produção do sistema da receita bruta, o equilíbrio financeiro mais favorável foi observado no sistema consorciado de *M. oleifera* com *L. leucocephala* com poda de 100% (US\$ 10,452.53), seguido pelo tratamento com *L. leucocephala* sob poda de 50% (US\$ 8,682.15). Em contraste, o tratamento com *C. cajan* com poda de 50% resultou em saldo financeiro negativo (US\$ -30.24).

Tabela 5. Rendimento de grãos e óleo de *M. oleifera* consorciada com *C. cajan*, *L. leucocephala* e vegetação espontânea sob intensidades de poda de 50% e 100%; rendimento de grãos de *C. cajan* e produção de biomassa de *L. leucocephala* em resposta à poda de 50% e 100%; custos de produção do sistema, valor de mercado dos produtos e equilíbrio financeiro.

TRATAMENTOS	RESULTADOS					
	Sementes de <i>M. oleifera</i> (kg/ha <sup>-1</sup> )	Óleo de <i>M. oleifera</i> (L/ha <sup>-1</sup> )	Sementes de <i>C. cajan</i> e biomassa de <i>L. leucocephala</i> (kg ha <sup>-1</sup> )	Valores de Comercialização de óleo de <i>M. oleifera</i> (US\$ ha <sup>-1</sup> )	Valores de Comercialização de sementes de <i>C. cajan</i> e biomassa de <i>L. leucocephala</i> (US\$ ha <sup>-1</sup> )	Total de valores comercializados de produtos (Óleo de <i>M. oleifera</i> , Sementes de <i>C. cajan</i> e biomassa de <i>L. leucocephala</i> - US\$ ha <sup>-1</sup> )
<i>C. cajan</i> 50%	308,50	51,46	393,25	3,180.32	727.51	3,907.83
<i>C. cajan</i> 100%	1.055,75	175,96	26,25	10,883.12	48.56	10,931.68
<i>L. leucocephala</i> 50%	1.145,75	190,95	1.887,25	11,810.25	971.90	12,782.15
<i>L. leucocephala</i> 100%	1.319,00	219,8	1860,00	13,594.63	957.90	14,552.53
Vegetação espontânea 50%	346,25	57,70	-	3,568.74	-	3,568.74
Vegetação espontânea 100%	425,50	70,91	-	4,385.78	-	4,385.78

Fonte: O próprio autor.

Dentre todos os custos de produção, a mão de obra foi o mais expressivo representando 37,19% de todo o valor gasto. Os custos com os insumos corresponderam a 35,97%, a mecanização nos tratamentos culturais e preparo de solo corresponderam a 20,49 % e os investimentos em ferramentas, equipamentos e sementes foram 6,35 %.

O presente estudo indica que o *C. cajan* consorciado com a *M. oleifera* pode ser utilizado como cultura para rotação, buscando estruturação do solo. Porém, não foi satisfatório para gerar receitas, sendo a *L. leucocephala* a leguminosa mais indicada. Segundo Beltrame *et al.* (2007), a deposição dos resíduos e toda a biomassa do *C. cajan* incorporando todo o sistema radicular com seus nódulos, favoreceram os atributos do solo, contribuindo para redução de adubos externos e do custo de produção da cultura consorciada. Adicionalmente, pode contribuir para a renda da propriedade rural, tanto como alimentação humana e animal, como na venda de sementes.

A biomassa da *L. leucocephala* pode ser utilizada como fonte de proteína aos animais de uma propriedade rural, representando possibilidade de renda ao produtor que optar pelo sistema consorciado de cultivo. Nesse contexto, vale citar o estudo do uso de folhas de *L. leucocephala* e *M. oleifera* como fontes de proteína na alimentação de coelhos na estação seca, constatando-se a existência de 28,6% de proteína bruta para folhas de *M. oleifera* e 24,5% para as folhas de *L. leucocephala*, confirmando ambas as espécies como um eficiente suplemento alimentar para os animais (Simbaya *et al.*, 2020).

Os aspectos produtivos e os custos observados no presente estudo comparam-se ao que foi estimado por Vinholis *et al.* (2019) cujo sistema de produção com menor aporte tecnológico, teve custo de produção foi de R\$ 1.801,20 ha<sup>-1</sup> na safra 2016/17. No estudo citado a produtividade de *C. cajan* foi de 500 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto o custo por quilo foi de R\$ 3,60. O custo operacional, formado pelos gastos com operações mecanizadas, insumos, custos administrativos e depreciação, corresponderam a 76 % do total, alcançando o valor de R\$ 1.375,71 ha<sup>-1</sup> e R\$ 2,75 kg<sup>-1</sup>. Os gastos com operações mecanizadas e insumos foram os que mais pesaram no custo total, representando 48% e 18%, respectivamente. Dentre as operações mecanizadas, a colheita, seguida do plantio e controle de plantas invasoras foram os itens com maior impacto, representando 28%, 8% e 6% do custo total, respectivamente (Vinholis *et al.*, 2019).

A expectativa de retorno financeiro com o sistema avaliado no presente estudo é maior devido a diversidade de uso da *M. oleifera*. Outras receitas podem ser geradas com produtos diversos, como por exemplo: comercializando o feno da folha da moringa para alimentação animal, venda das sementes para uso em áreas degradadas, venda da silagem da folha fresca, desenvolvimento de ração para peixes com o uso da torta resultante extração do óleo mais as folhas desidratadas.

Apesar das expectativas de ganhos financeiros somadas à conservação do solo proporcionada pelo sistema estudado, é importante destacar que a adubação verde ou o cultivo consorciado adotados como práticas conservacionistas é limitado pela falta de conhecimento e assessoria técnica junto aos produtores, principalmente no contexto de regiões sujeitas ao déficit hídrico. Dentre os fatores que influenciam a adoção do manejo da matéria orgânica em pequenas propriedades rurais na região de Rwenzori, em Uganda, destacam-se as características do agricultor, tais como idade, escolaridade, gênero, cultura, e conhecimento sobre o uso e a aplicação de uma prática. Adicionalmente destacam-se a disponibilidade de mão de obra e insumos; disponibilidade de equipamentos apropriados; informações adequadas fornecidas por serviço de extensão rural; a existência de um quadro político de apoio e a presença de apoio social. Esses fatores podem ser categorizados como técnicos, sociais, culturais e políticos (Ekyaligonza *et al.*, 2024).

## 5 CONCLUSÃO

Nas análises de acúmulos de nutrientes para a biomassa, a espécie guandu (*C. cajan*) se destacou com a maior produção de matéria seca, assim como no maior acúmulo dos macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e dos micronutrientes (Cu, Fe e Mn), sendo que para o elemento Zn a vegetação espontânea se destacou em relação aos demais. A área superficial radicular foi superior para a vegetação espontânea na distância de 80 cm da *M. oleifera*. Porém, para o indicador comprimento total de raiz, o *C. cajan* se destacou em relação as demais espécies na distância de 20 cm da *M. oleifera*. A massa das raízes foi evidenciada aos 60 cm de distância das plantas de *M. oleifera*.

Para a camada de 0 a 20 cm de profundidade do solo, o *C. cajan* foi o que mais proporcionou o acúmulo de P, Na, CO e Ca, assim como maiores valores de CTC, soma de bases e percentual da saturação de bases, adotando-se o manejo de 50% de plantas podadas. Já a vegetação espontânea apresentou maior teor de cobre no manejo de 100% de plantas podadas. O maior teor de N no solo ocorreu associado às plantas de *C. cajan* a 20 cm de distância das plantas de *M. oleifera*.

Na profundidade de 20 a 40 cm do solo, a vegetação espontânea proporcionou maior teor de cálcio, assim como os maiores valores para CTC, soma de bases e percentual de saturação de bases. O *C. cajan* resultou em maiores valores para o manganês e para a acidez do solo. A *L. leucocephala* resultou em maior teor de carbono orgânico para o manejo de 50% de plantas podadas, enquanto a vegetação espontânea superou as leguminosas no manejo de 100% de plantas podadas. O *C. cajan* se destacou para maior teor de manganês no solo, tanto para 50% como para 100% das plantas podadas.

A qualidade do óleo de *M. oleifera* foi mantida, mesmo com o consórcio da oleaginosa com outras espécies.

Com base nas receitas obtidas, tanto a produção de óleo como de sementes de *M. oleifera* foram satisfatórias no segundo ano de cultivo consorciada com a *L. leucocephala* conduzida com 100% de plantas podadas.

O estudo do consórcio da *M. oleifera* com as leguminosas representa alternativa como fonte de receitas e de alimentos ao produtor ao passo em que também melhora a qualidade do solo, reduz a demanda por insumos externos e eleva a sustentabilidade com base no manejo da adubação verde. Assim, vislumbra-se múltiplos benefícios ambientais, econômicos e sociais resultantes do consórcio da *M. oleifera* com as leguminosas, contribuindo com a bioeconomia.

## REFERÊNCIAS

- ABBOUD, A. C. S. **Eficiência da adubação verde associada a fosfato natural de Patos de Minas**. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 1986.
- ABDULLAHI, I. N.; ANYAEGBU, P. O. **The performance of Soybean using Moringa as alley to improve soil productivity in North-Central Nigeria**. Department of Crop Science, Faculty of Agriculture, University of Abuja. Abuja - Nigeria. Março, 2017.
- ABRANCHES, M.O.; SILVA, G.A.M.; SANTOS, L.C.; PEREIRA, L.F.; FREITAS, G.B. **Contribuição da adubação verde nas características químicas, físicas e biológicas do solo e sua influência na nutrição de hortaliças**. Research, Society and Development, v. 10, n. 7, e7410716351, 2021.
- ABROL, V.; SHARMA, P.; CHARY, G.R.; SRINIVASARAO, CH.; SANKAR, G.R.M.; SINGH, B.; KUMAR, A.; HASHEMA, A.; IBRAHIMOVA, U.; ABD-ALLAH, E.F.; KUMAR, M. Integrated organic and mineral fertilizer strategies for achieving sustainable maize yield and soil quality in dry sub-humid inceptisols. **Scientific Reports**, n. 1, v. 14, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-74727-4>.
- ADEKIYA, A. O.; AGBEDE, T. M.; ABOYEJI, C. M.; DUNSIN, O.; UGBE, J. O. Green manures and NPK fertilizer effects on soil properties, growth, yield, mineral and vitamin C composition of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, n. 2, v. 18, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2017.05.005>.
- ADVANCED BIOFUEL CENTER – ABC. Moringa economics, 2024. Disponível em: <http://www.jatrilophaworld.org/moringa-economics.html>. Acesso em: 12 fev. 2024.
- ALCÂNTARA, F.A.; NETO, A.E.F.; PAULA, M.B.; MESQUITA, H.A.; MUNIZ, J.A. Adubação verde na recuperação de um latossolo vermelho-escuro degradado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 35, n.2. p. 277-288, fev. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000200006>.
- AMBROSANO, E.J. *et al.* Produtividade da cana-de-açúcar após o cultivo de leguminosa. **Bragantia**, v.70, n.4, p.810-818, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000400012>.
- ANDRADE, H.A.F.; SAGRILO, E.; JUNIOR, J.O.L.O.; SOUSA, D.C.; COSTA, C.P.M.; COSTA, P.M.; NETO, R.B.A.; ALCANTARA, R.M.C.M.; LEITE, L.F.C.; FURTADO, M.B.; BELTRAN, M.J.; MENZA, N.C.; SOUZA, H.A. Cover Crops Optimize Soil Fertility and Soybean Productivity in the Cerrado of MATOPIBA, Brazil. **Agronomy**, v. 15, n. 5, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy15051083>.

- ARCO-VERDE, M. F.; AMARO, G. C. **Metodologia para análise da viabilidade financeira e valoração de serviços ambientais em sistemas agroflorestais**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Embrapa Florestas. p. 335-345, 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1024363/1/MarceloAVLivroServicosAmbientaisCap30.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2022.
- ARUNA, M.; SRILATHA, N. Water clarification using *Moringa oleifera* Lam. seed as a natural coagulant. **Current Biotica**, v. 5, n. 4, p. 472-486, 2012. ISSN 0973-4031.
- AURAS, N.E.; ZILLI, J.E.; SOARES, L.H.B.; FONTANA, J. Recomendação de uso de estirpes fixadoras de nitrogênio em leguminosas de importância agrônômica e florestal. EMBRAPA AGROECOLOGIA. **Documento 307**. 38 p. 2018. ISSN: 1517 – 8498.
- BARBA, J.H. **Análise físico química do óleo da *Moringa oleifera* de acordo com método de extração e região de plantio**. 2023. 107 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, PR. 2023. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/33560>.
- BARRETO, A.C.; FILHO, O.M.C. Cultivo de leucena em consórcio com feijão, milho e algodão. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, DF. v. 27, n. 11, p. 1533-1540, nov. 1992. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/105701>. Acesso em: 19 mar. 2023.
- BARRETO, A.C.; FERNANDES, M.F. Cultivo de *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala* em alamedas visando a melhoria dos solos dos tabuleiros costeiros. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, DF. v. 36, n. 10, p. 1287-1293, out. 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/FTSZSZtkZ33HZYYj7qJN4Dg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 16 out. 2023.
- BELTRAME, T.P.; RODRIGUES, E. **Guandu bean (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) on tropical forest restoration**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 28, n. 1, p. 19-28, jan./mar. 2007.
- BERTOL, I; DE MARIA, I.C.; SOUZA, L.S. **Manejo e conservação do solo e da água**. ed. 631.4. Viçosa, MG: SBCS. p. 528-587, 2019. ISBN: 978-85-86504-25-9.
- BISWAS, S.; DAS, R.; JANA, K.; PUSTE, A. Integrated nutrient management on oat plus grass pea intercropping system: an evaluation of system productivity, economics, energetics and carbon footprint. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66107-9>.
- BOGDAN, A. V. Tropical pasture and fodder plants. **Experimental Agriculture**. New York, Longman, 1977. 465 p. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0014479700008826>.
- BOX, G.E.P.; COX, D.R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society**. v. 26. n. 02. p. 211-252, 1964. Disponível em: <http://links.jstor.org/sici?sici=0035-9246%281964%2926%3A2%3C211%3AAAOT%3E2.0.CO%3B2-6>. Acesso em: 04 nov. 2023.

BREWBAKER, J. L.; MacDIKEN, K.; WITHINGTON, D. (org.). *Leucaena forage production and use*. **Waimanalo: Nitrogen Fixing Tree Association**, 1985. 39 p.

CAETANO, L.C.S.; FERREIRA, J.M.; ARAÚJO, M.L. Produtividade de cenoura e alface em sistema de consorciação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.17, n.2, p.143-146, 1999.

CABALLERO, C.B.; BIGGS, T.W.; VERGOPOLAN, N.; WEST, T.A.P.; RUHOF, A. Transformation of Brazil's biomes: The dynamics and fate of agriculture and pasture expansion into native vegetation. **Science of The Total Environment**. v. 896, 20 out. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166323>.

CAVALCANTE, V. S.; SANTOS, V.R.; NETO, A.L.S.; SANTOS, A.L.; SANTOS, C.G.; COSTA, L.C. Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB: UAEEA/UFCG, v.16, n.5, p.521–528, 2012. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br>. Acesso em: 10 nov. 2023.

CEARÁ. **Lei 16.002, de 02 de maio de 2016**. Dispõe sobre o Programa de Valorização das Espécies Vegetais Nativas. Diário Oficial da União, Ceará, 3 maio. 2016. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=320056>. Acesso em: 12 abr. 2024.

CEARÁ, **Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE**. Perfil Básico Municipal – Beberibe-CE. Fortaleza: IPECE, 2017. Disponível em: [https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Beberibe\\_2017.pdf](https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Beberibe_2017.pdf). Acesso em: 05 abr. 2023.

CHAVES, J. C. D. Contribuições adicionais da adubação verde para a lavoura cafeeira. *In*: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2, 2001, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), 2001. p. 2440-2448.

CYSNE, J. R. B. **Propagação in vitro de *Moringa oleifera* L.** 2006. 81 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2006. Disponível em: [http://www.fitotecnia.ufc.br/Disserta%F5es/2006\\_Junior\\_Regis.pdf](http://www.fitotecnia.ufc.br/Disserta%F5es/2006_Junior_Regis.pdf). Acesso em: 05 set. 2022.

COELHO, F.C.; FREITAS, S. de P.; RODRIGUES, R. *et al.* Manejo de plantas daninhas e sistema de consórcio na cultura do quiabeiro: produtividade e qualidade de frutos. CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 18, 2000, Brasília, DF. **Anais [...]**. Brasília, DF. SOB/FCAV-UNESP, 2000. p.587-588.

SILVA, E.E.; POLLI, H.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; LUCENA, D.R.R.; MARINHO, G.J.G. Matéria orgânica e fertilidade do solo em cultivos consorciados de couve com leguminosas anuais. **Revista Ceres**. Viçosa, MG, Brasil. v. 56, n. 1, p. 93-102, jan./fev, 2009. ISSN 0034-737X.

DALLA ROSA, K. R. *Moringa oleifera*: a perfect tree for home gardens. Hawaii: NFTA, **Agroforestry Species Highlights**, n. 1, v. 1, p. 2-3, 1993. Disponível em: <https://winrock.org/moringa-oleifera-a-perfect-tree-for-home-gardens/>. Acesso em: 22 jan. 2022.

DAVE, K.; KUMAR, A.; DAVE, N.; JAIN, M.; DHANDA, P. S.; YADAV, A.; KAUSHIK, P. Climate Change Impacts on Legume Physiology and Ecosystem Dynamics: A Multifaceted Perspective. **Sustainability**, v. 16, n. 6026, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16146026>.

DRUMOND, M. A.; RIBASKI, J. Leucena (*Leucaena leucocephala*): leguminosa de uso múltiplo para o semiárido brasileiro. Embrapa Semiárido. **Comunicado Técnico**, Petrolina, PE. 2010. 8 p. ISSN 1808-9984. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/880169>. Acesso em: 11 jan. 2023.

DOBEREINER, J.; CAMPELO, A. B. **Importance of legume and their contribution to tropical agriculture.** In: HARDY, R. N.; GIBSON, A. H. A treatise, on nitrogen fixation section. IV - Agronomy and Ecology. New York, John Wiley, 1977. p. 191-220.

DUKE, J. A. Moringaceae: Horseradish-tree, Drumsticktree, Sohnja, Moringa, murunga-kai, mulungay. In: BENGE, M. D. Moringa a Multipurpose tree that purifies water. **Science and Technology for Environment and Natural Resources**, Boston, 1987. p. 19-28.

ELHAKEEM, A.; WERF, W.D.; AJAL, J.; LUCA, D.; CLAUS, S.; VICO, R.A.; BASTIAANS, L. Cover crop mixtures result in a positive net biodiversity effect irrespective of seeding configuration. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 285, n. 106627, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106627>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Relatório técnico anual dos Cerrados.** Centro de pesquisa agropecuária dos Cerrados. Planaltina – DF, v. 6, p. 163, 1982. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/548809>. Acesso em: 21 ago. 2022.

EKYALIGONZA, D.M.; TIBASIIMA, T.K.; BWAMBALE, B.; KAGORORA, J.P.K.; FREYER, B. Factors influencing adoption of organic matter management on smallholder farms in the Rwenzori region of Uganda. **Organic Agriculture**, v. 14, n. 3, p. 307-321, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13165-024-00465-6>.

FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; COSTA, L.M.; ALVARENGA, R. C.; NEVES, J. C. L. Crescimento e acúmulo de nutrientes por plantas espontâneas e por leguminosas utilizadas para adubação verde. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 24, n. 1, p. 171-177, 2000. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/483576>. Acesso em: 12 ago. 2023.

FRANCIS, K; LIOGIER, H. A. Naturalized exotic tree species in Puerto Rico. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. **Institute of Tropical Forestry**. p. 12, 1991. DOI: <https://doi.org/10.2737/SO-GTR-82>.

GHOSH, P.K.; MOHANTY, M.; BANDYOPADHYAY, K.K.; PAINULI, D.K.; MISRA, A.K. Growth, competition, yields advantage and economics in soybean/pigeonpea intercropping system in semi-arid tropics of India. II. Effect of nutrient management. Indian Institute of Soil Science, Nabibagh, India. **Field Crops Research**, v. 96, n.1, p. 90-97, 2005. DOI: <https://www.doi:10.1016/j.fcr.2005.05.010>.

GONDIM, E.X.; FERREIRA, B.H.S.; REIS, L.K.; GUERRA, A.; ABRAHÃO, M.; AJALLA, A.C.; VOLPE, E.; GARCIA, L.C. Growth, flowering and fruiting of

Campomanesia adamantium (Cambess) O. Berg intercropped with green manure species in Agroforestry Systems. **Agroforest Systems**, v. 95, n. 2, p. 1261–1273, 2020. DOI: <https://www.doi.org/10.1007/s10457-020-00533-2>.

GOOGLE EARTH. Versão 7.3.6.10201. [S. l.: s. n.], 28 abr. 2025. Disponível em: <https://www.google.com/earth/>. Acesso em: 17 nov. 2025.

GOPALAKRISHNANB, L.; DORIVAA, K.; KUMARA, D.S. Moringa oleifera: A review on nutritive importance and its medicinal application. **Food Science and Human Wellness**. v. 5, p. 49-56, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fshw.2016.04.001>.

HAIJI, A.; TEKA, T.A.; BEREKA, T.Y.; ANDRESA, K.N.; NEKERA, K.D.; ABDI, G.G.; ABELTI, A.L.; URUGO, M.M. Nutritional Composition, Bioactive Compounds, Food Applications, and Health Benefits of Pigeon Pea (*Cajanus cajan* L. Millsp.): A Review. **Legume Science**, v. 6, n. 2, p. 11, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/leg3.233>.

HEINRICHS, R.; VITTI, G.C.; MOREIRA, A.; FIGUEIREDO, P.A.M.; FANCELLI, A.L.; CORAZZA, E.J. Características químicas de solo e rendimento de fitomassa de adubos verdes e de grãos de milho, decorrentes do cultivo consorciado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 71-79, jan./fev. 2005. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/678655>. Acesso em: 08 set. 2023.

HIDOSA, D.; KIBRET, S.; BELACHEW, B. Evaluation of Pigeon pea (*Cajanus cajan*) for Dry Matter Yield and Chemical Composition on Station of Jinka Agricultural Research Center, South Omo, South-Western Ethiopia. **American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.**, v. 20, n. 3, p. 129-136, 2020. ISSN 1818-6769. DOI: <https://doi.org/10.5829/idosi.ajeaes.2020.129.136>.

CLIMATE-DATA. Beberibe – Clima: gráfico climático, temperatura e precipitação. 2021. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/ceara/beberibe-42589/#climate-graph>. Acesso em: 11 nov. 2024.

IBGE. Panorama Brasil / Ceará — Cidades IBGE. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/panorama>. Acesso em: 04 nov. 2021.

IPEA. IPEADATA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2023. Disponível em: <https://www.ipeadata.gov.br>. Acesso em: 17 ago. 2023.

KAPUT, C. **Moringa**: export Market potencial for smallholder farmers in Haiti. 2015. Disponível em: <https://www.thegrowingdutchman.com/wp-content/uploads/2017/04/SFA-Moringa-Export-Market-Potential-for-Smallholder-Farmers-in-Haiti-2015.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2023.

KLUTHCOUSKI, J. **Leucena: alternativa para a pequena e média agricultura**. 2. ed. Goiânia: EMBRAPA, CNPAF, 1982. p. 12. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/192292>. Acesso em: 08 set. 2023.

KOLMANS, E.; VÁSQUEZ, D. **Manual de agricultura ecológica: una introduccion a los principios básicos y su aplicacion**. Habana, Cuba: Actaf, 1999, 150 p.

KRAUSS, F.G. The pigeon pea (*Cajanus indicus*) its improvement, culture and utilization in Hawaii. **Hawaii Agricultural Experiment Station**. n. 46, p. 1-23. 1921.

KUMAR, C.V.S.; NAIK, S.J.S.; MOHAN, N.; SAXENA, R.K.; VARSHNEY, R.K. Botanical Description of Pigeonpea [*Cajanus Cajan* (L.) Millsp.]. **The pigeonpea Genome**, Patancheru, India. p.17-29, 2017. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-63797-6\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-63797-6_3).

KUMAR, R.; BORDOLOI, N. Combined impact of reduced N fertilizer and green manure on wheat yield, nitrogen use efficiency and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions reduction in Jharkhand, eastern India. Department of Environmental Sciences, Central University of Jharkhand, Índia. **Field Crops Research**, v. 318, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109591>.

KUMAR. B.M.; KUMAR, S.S.; FISHER, R.F. Intercropping teak with *Leucaena* increases tree growth and modifies soil characteristics. **Agroforestry Systems**. v. 42, p. 81–89, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1006199910985>.

KUMAR, H.; GULERIA, S.; DHALARIA, R.; NEPOVIMOVA, E.; BHARDWAJ, N.; JHA, P.; DHANJAL, S.; VERMA, N.; MALIK, T. Valorization *Moringa oleifera* Lam: Healthy green biomass for circular bioeconomy. Food Chemistry: X. v. 26. **Food Chymistry: X**, v. 26, p. 22. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102358>.

KUMAWAT, N.; SINGH, R. P.; KUMAR, R.; OM, H. Effect of integrated nutrient management on the performance of sole and intercropped pigeonpea (*Cajanus cajan*) under rainfed conditions. **Indian Journal of Agronomy**, v. 58, n. 3, p. 309 – 315. set. 2013. DOI: <https://doi.org/10.59797/ija.v58i3.4223>.

LATIMER, G.W.J. **Official Methods of Analysis of AOAC** (Association of Official Analytical Chemists) International. 20 th Edition. 2016.

LINCH, J.M. **Biotechnologia do solo**. São Paulo, Manole, 1986, 209 p.

MAGALHÃES, R. B. **Leguminosas arbóreo-arbustivas como fonte de nutrientes em plantio de coqueiro**. 2023. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). 165 f. Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2023.

MAGHEMBE, J.A.; KAONEKA, A.R.S.; LULANDALA, L.L.L. Intercropping, Weeding and Spacing Effects on Growth and Nutrient Content in *Leucaena leucocephala* at Morogoro, Tanzania. Department of Forest Biology, Faculty of Forestry, Sokoine University of Agriculture. **Elsevier: Forest Ecology and Management**, v. 16. p. 269-279, 1986.

MAYER, J. D.; GARCIA, A. F. C.; FRANCO, J. R.; DA FONSECA, Z. P.; FALATE, R. Estimando e comparando comprimentos de objetos cilíndricos por meio dos sistemas winrhizo e safira. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA - CONTECC, 2018. **Anais [...]**. Macéio, AL. 2018.

MARANGONI, R.E.; ARAÚJO, L.S.; VALENTE, M.S.; SILVA, L.G.B.; SILVEIRA, P.M.; CUNHA, P.C.R. Produção de fitomassa seca de guandu-anão e milho e a decomposição das palhadas sob cultivo do feijoeiro. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, RR. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 11, n. 2, p. 119-127, abr./jun. 2017. DOI: <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v11i2.3972>.

MARTINEZ, D. M.; VICTOR, E.; LÓPEZ, G. V.; ARYAL, D.R.; CASANOVA, L.F.; CANUL, S.J.; ESCOBEDO, M. J. Fine root density and vertical distribution of *Leucaena leucocephala* and grasses in silvopastoral systems under two harvest intervals. **Agroforestry Systems**, v. 94, p. 843-855, 2020. DOI: <http://www.10.1007/s10457-019-00457-6>.

MORAIS, E.C.; LIMA, J.S.S.; NETO, F.B.; SILVA, J.N.; NUNES, R.L.C.; LINHARES, P.C.A. Habilidade competitiva e biológica do consórcio beterraba com caupi-hortaliça proveniente de adubação verde e de arranjos espaciais. Viçosa, MG. **Revista Ceres**, v. 65, p. 433-442, 2018. DOI: <http://www.10.1590/0034-737X201865050008>.

MOTIS, T.N.; LONGFELLOW, J.M.; JANI, A.D.; LINGBEEK, B.J.; AIUTO, C.J.; BERGEN, J.C.J. Productivity of *Moringa oleifera* augmented with intercropped tropical legumes. North Fort Myers, EUA. **Acta Horticulture**, v. 1158, 2017. DOI: <http://www.10.17660/ActaHortic.2017.1158.11>.

NASCIMENTO, J.T.; SILVA, I.F.S.; SANTIAGO, R.D.; NETO, L.F.S. Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado. Campina Grande, PB, DEAg/UFC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.457-462, 2003.

OLSON, M.E.; CARLQUIST, S. Stem and root anatomical correlations with life form diversity, ecology and systematics in *Moringa* (Moringaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**. v. 135, n. 4, p. 315–348, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1006/bojl.2000.0427>.

OLSON, M.E. Combining data from DNA sequences and morphology for a phylogeny of Moringaceae Brassicales. Universidad Nacional Autónoma de México, México. **Systematic Botany**. v. 27, p. 55–73, 2002. DOI: <http://www.10.1043/0363-6445-27.1.55>.

OLIVEIRA, P.P.A.; FURTADO, A.J.; FILHO, A.L.A.; BRUNO, J.F.; JÚNIOR, F.P.; BERNARDI, C.C.; RODRIGUES, P.H.M.; NOGUEIRA, A.R.A. Estratégias de recuperação de pastagens degradadas para aumento do sequestro de carbono no solo, incluindo o consórcio com o feijão-guandu. São Carlos, SP. EMBRAPA Pecuária Sudeste. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, p. 14, mai. 2024. ISSN 1677-891X / e-ISSN 1981-2078. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1164736>. Acesso em: 03 set. 2024.

PAHLA, I.; TAGWIRA, F.; MUZIRIL, T.; CHITAMBA, J. Effects of pH, Nitrogen and Phosphorus on the Establishment and Growth of *Moringa oleifera* Lam. **International Journal of Agriculture and Forestry**. v. 4, p. 211-216, 2014. DOI: <http://www.10.5923/j.ijaf.20140403.11>.

PEREIRA, J. O feijão guandu: uma opção para a agropecuária brasileira. **Circular técnica**. Planaltina, GO. EMBRAPA – CPAC. 1985. 27 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/549433>. Acesso em: 03 nov. 2023.

PIO CORRÉA, M. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**. Rio de Janeiro, RJ. Ministério da Agricultura, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, v. 5, p. 276-283, 1984.

PONNUSWAMI, V. Advances in Production of Moringa. Periyakulam, Tamil Nadu Agricultural University. **Horticultural College and Research Institute**, p. 146, 2002. Disponível em: <https://agritech.tnau.ac.in/horticulture/pdf/Moringa%20English%20book.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2023.

QUEIROZ, L.R.; COELHO, F.C.; BARROSO, D.G.; QUEIROZ, V.A.V. Avaliação da produtividade de fitomassa e acúmulo de N, P e K em leguminosas arbóreas no sistema de aléias, em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.31, n.3, p.383-390, 2007.

RAMACHANDRAN, C.; TER, K.V.; GOPALAKRISHMAN, P.K. Drumstick (Moringa oleifera): A multipurpose Indian vegetable. **Economic Botany**. v.34, p.276-283, 1980.

RAMOS, G.M.; ITALIANO, E.C.; NASCIMENTO, M. do S.C.B.; ARAUJO NETO, R.B. Recomendações sobre o cultivo e uso da leucena na alimentação animal. Teresina: Embrapa-CPAMN, 1997. **Circular Técnica**, v. 16. 16 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/53604>. Acesso em: 23 abr. 2023.

RESENDE, F.V.; VIDAL, M. C. Organização da Propriedade no Sistema Orgânico de Produção. Brasília, DF. Embrapa Hortaliças. **Circular Técnica**, 63. p.8, 2008. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/781318>. Acesso em: 17 mar. 2022.

REZENDE, J.L.P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa, MG: Editora UFV. 2013. 385 p.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO, F.J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SANTOS, V.R.; COSTA, L.C.; RABÊLO, F.H.S.; CHISTÉ, L.; MEDEIROS, B.M.; DIAS, C.T.S. Decomposition and nutrient release from shoot of legumes cover crops. **Comunicata Scientiae – Horticultural Journal**, v. 16, p. 9, 2025. <https://doi.org/10.14295/CS.v16.4297>.

SAS INSTITUTE INC. **SAS University Edition**: virtual application. Cary, NC, p. 9, 2015.

SAXENA, K.; KUMAR, C.V.S.; CHAUHAN, Y.S.; HINGANE, A. Developing improved varieties of pigeonpea. **Burleigh Dodds Series in Agricultural Science**, v. 2, p. 297-326, 2018. DOI: <http://www.10.19103/AS.2017.0023.33>.

SEIFFERT, N.F.; THIAGO, L.R.L.S. Cultura forrageira para produção de proteína. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Centro Nacional de pesquisa de gado de corte. Campo Grande, MS. **Circular técnica**, 13. p. 52, 1983. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/327163>. Acesso em: 19 jun. 2022.

SEREIA, R.C. **Qualidade do solo em sistemas consorciados de milho, capim-marandu e feijão-guandu e sobressemeadura da aveia para pastejo de cordeiros**. 2017. 143 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, SP. 2017.

SILVA, A.R.; KERR, W.E. **Moringa**: uma nova hortaliça para o Brasil. Uberlândia: UFU/DIRIU. 1999, p. 95.

SILVEIRA, P.M.; BRAZ, A.J.B.P.; KLIEMANN, H.J.; ZIMMERMANN, F.J.P. Acumulação de nutrientes no limbo foliar de guandu e estilosantes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35. p. 133-138, 2005. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=253020157001>. Acesso em: 16 mar. 2023.

SIMBAYA, J.; CHIBINGA, O.; SALEM, A.Z.M. Nutritional evaluation of selected fodder trees: mulberry (*Molus alba* Lam.), leucena (*Leucaena leucocephala* Lam de Wit.) and Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) as dry season protein supplements for grazing animals. 2020. **Agroforestry Systems**. v. 94, p. 1189-1197, 2020. DOI: <http://www.10.1007/s10457-020-00504-7>.

SKERMAN, P. J. **Tropical forage legumes**. Rome, FAO, 610p. 1977. Disponível em: <https://doc1.bibliothek.li/aay/FLMA174882.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2022.

SOUSA, A.A.; ESPÍNDOLA, G.B. Bancos de Proteína de Leucena e de Guandu para Suplementação de Ovinos Mantidos em Pastagens de Capim-Buffel. Viçosa, MG. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 29. n. 2. mar./abr. 2000. DOI: <http://www.10.1590/S1516-35982000000200007>.

SOUZA, J.K.A.; COSTA, L.M.; GONÇALVES, R.O.; SANTOS, T.C.S.; SANTOS, T.J.; SABUNDJIAN, M.T. Análise econômica da adubação verde na produção da alface e repolho orgânico. **Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da FAIT**. n. 2, nov. 2017. ISSN: 1806 – 6933.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995, 174p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p. Disponível em: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/ManualdeMetodosdeAnalisedeSolo2017.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2022.

ITC. Trad map. **Trad Map Provides [...]**. União Européia: ITC, 2019. Disponível em: <https://www.trademap.org/Index.aspx>. Acesso em: 06 nov. 2021.

TULU, A.; TEMESGEN, W.; GEMECHU, T.; GADISA, B.; DIRIBSA, M. *Cajanus cajan* and *Lablab purpureus* leaf meal-potential supplements over conventional protein sources for yearling Horro sheep fed a basal diet of fodder oat (*Avena sativa*) hay. **Elsevier: Veterinary and Animal Science**, v. 25, p. 7, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vas.2024.100376>.

WATERMAN, C.; PETERSON, A.; SCHELLE, C.; VOSTI, S.A.; MCMULLIN, S. Assessing the economic viability of commercial moringa production for Kenyan small-scale farmers. **Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies**, v. 11, n. 5, 2021. DOI: <http://www.10.1108/JADEE-08-2020-0183>.

WANG, G.; LIU, S.; FANG, Y.; SHANGGUAN, Z. Adaptive changes in root morphological traits of Gramineae and Leguminosae seedlings in the ecological restoration of the semiarid region of northwest China. 2020. **Land Degradation & Development**, v. 31, n. 16, p. 2417-2429, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.3616>.

WITCOMBE, A.M.; TIEMANN, L.K.; CHIKOWO, R.; SNAPP, S.S. Diversifying with grain legumes amplifies carbon in management-sensitive soil organic carbon pools on smallholder farms. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 356, p. 11, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108611>.

VIANA, E.; SANTOS, J.C.; DANTAS, A. Caracterização físico-química dos óleos das sementes e das folhas da moringa (*Moringa oleifera*). In: SLACAN – SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS E NUTRIÇÃO, 15., 2023. **Anais [...]**. ISBN: 978-65-89463-70-2. Disponível em: <https://proceedings.science/slacan-2023/trabalhos/caracterizacao-fisico-quimica-dos-oleos-das-sementes-e-das-folhas-da-moringa-mor?lang=pt-br>. Acesso em: 20 jun. 2024.

VINHOLIS, M. M. B.; REYDON, T. B.; FILHO, H. M. S.; GODOY, R. Estimativa de custo de produção de grão de feijão guandu. **Circular técnica**, 84. São Carlos – SP, Embrapa. p. 17, 2019. ISSN 1981-2086. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1110699/1/EstimativaCustoProducao.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2022.

**ANEXO A - QUADRO RESUMO DA ANOVA DOS VALORES DE BIOMASSA E ACÚMULO DE NUTRIENTES NAS LEGUMINOSAS E NA VEGETAÇÃO ESPONTÂNEA.**

Tratamentos	MS (kg ha <sup>-1</sup> )
	<i>p</i> valor
Bloco	0,8030
Poda	0,2549
Espécie	<,0001
Poda x Espécie	0,3093
CV	28,85%

Tratamentos	N (kg ha <sup>-1</sup> )	K (kg ha <sup>-1</sup> )	P (kg ha <sup>-1</sup> )
	<i>p</i> valor		
Bloco	0,6602	0,9727	0,3138
Poda	0,0684	0,1287	0,0833
Espécie	<,0001	<,0001	<,0001
Poda x Espécie	0,8311	0,4383	0,718
CV	12,27%	8,32%	6,03%

Tratamentos	Ca (kg ha <sup>-1</sup> )	Mg (kg ha <sup>-1</sup> )	Cu (kg ha <sup>-1</sup> )
	<i>p</i> valor		
Bloco	0,7632	0,8169	0,9363
Poda	0,3663	0,2564	0,3602
Espécie	<,0001	<,0001	<,0001
Poda x Espécie	0,4812	0,7984	0,5005
CV	8,84%	7,89%	7,19%

Tratamentos	Fe (kg ha <sup>-1</sup> )	Mn (kg ha <sup>-1</sup> )	Zn (kg ha <sup>-1</sup> )
	<i>p</i> valor		
Bloco	0,7556	0,864	0,7575
Poda	0,6649	0,7629	0,842
Espécie	<,0001	<,0001	<,0001
Poda x Espécie	0,4337	0,5671	0,621
CV	7,93%	7,74%	7,81%

**ANEXO B - QUADRO RESUMO DA ANOVA DOS VALORES DOS ATRIBUTOS  
DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 20 CM E DE 20 A 40 CM.**

Tratamentos	N (g kg <sup>-1</sup> )		K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		P (mg kg <sup>-1</sup> )	
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
	<i>p</i> valor					
Bloco	<,0001	<,0001	0,1270	0,7249	0,1100	0,5201
Poda	0,2579	0,0248	0,1499	0,1408	0,1361	0,2662
Espécie	0,9635	0,8373	0,0201	0,6029	0,0005	0,1164
Poda x Espécie	0,2204	0,5235	0,9545	0,4037	<,0001	0,1183
CV	19,08%	5,13%	29,91%	5,70%	22,49%	22,97%

Tratamentos	Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		Mg (kg ha <sup>-1</sup> )		Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
	<i>p</i> valor					
Bloco	0,8217	0,0400	0,3765	0,1699	0,5723	0,4472
Poda	0,1779	0,6592	0,3838	0,1712	0,3314	0,1918
Espécie	0,8105	0,0009	0,0597	0,4804	0,0724	0,2119
Poda x Espécie	0,0008	0,7334	0,0720	0,0657	0,0045	0,1552
CV	27,08%	25,07%	19,75%	7,71%	29,07%	9,45%

Tratamentos	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )		Mn (mg kg <sup>-1</sup> )		Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
	<i>p</i> valor					
Bloco	0,6966	0,8440	0,0736	0,0628	0,3578	0,3899
Poda	0,8804	0,9400	0,2256	0,0804	0,2351	0,0863
Espécie	0,8341	0,3316	0,5676	0,0273	0,5906	0,8665
Poda x Espécie	0,8002	0,6073	0,4399	0,0029	0,2312	0,9725
CV	12,88%	17,01%	12,68%	10,75%	7,32%	7,30%

Tratamentos	Na (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		Al (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		H+Al (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
	<i>p</i> valor					
Bloco	0,0494	0,1867	0,8601	0,6098	0,0340	0,2279
Poda	0,8720	0,0303	0,1038	0,1911	0,0196	0,7738
Espécie	0,0185	0,2656	0,5813	0,6346	0,1566	0,0463
Poda x Espécie	0,8026	0,1110	0,8309	0,6346	0,0860	0,9214
CV	26,93%	7,66%	0,89%	0,56%	18,20%	8,71%

Tratamentos	SB (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		CTC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		V (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
	<i>p</i> valor					
Bloco	0,8706	0,2366	0,7987	0,0277	0,9800	0,5545
Poda	0,0931	0,6954	0,1714	0,6007	0,0090	0,6000
Espécie	0,7658	0,0002	0,1038	0,0003	0,7748	0,0001
Poda x Espécie	<,0001	0,7488	0,0004	0,4792	<,0001	0,7849
CV	19,01%	19,98%	10,95%	10,45%	5,49%	8,45%

Tratamentos	pH		CO (g kg <sup>-1</sup> )	
	0-20	20-40	0-20	20-40
	<i>p</i> valor			
Bloco	0,7396	0,0454	0,0078	0,2992
Poda	0,0274	0,0112	0,0310	0,0264
Espécie	0,1281	0,6963	0,0656	0,0520
Poda x Espécie	0,0821	0,2082	0,0004	0,0204
CV	2,94%	3,82%	14,08%	24,14%

#### ANEXO C - QUADRO RESUMO DA ANOVA DOS VALORES DA PRODUÇÃO DE SEMENTES DE MORINGA.

Tratamentos	PRODUÇÃO ANO 1	PRODUÇÃO ANO 2
	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )
	<i>p</i> valor	
Bloco	0,4732	0,4313
Poda	0,6350	0,0008
Espécie	0,5692	<,0001
Poda x Espécie	0,9136	0,0077
CV	7,91	25,48

#### ANEXO D - QUADRO RESUMO DA ANOVA DOS VALORES DA PRODUÇÃO DE GRÃOS DE GUANDU.

Tratamentos	PRODUÇÃO ANO 1	PRODUÇÃO ANO 2
	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )
	<i>p</i> valor	
Bloco	0,8260	0,7043
Poda	0,1484	0,0047
CV	34,11%	32,41%

**ANEXO E - QUADRO RESUMO DA ANOVA DOS VALORES QUANTO A ÁREA OCUPADA (AS) PELAS RAÍZES, COMPRIMENTO DAS RAÍZES (CT), MATÉRIA SECA (MS) E O NITROGÊNIO TOTAL (N) EXISTENTE NO SOLO.**

	AS (cm <sup>2</sup> )	CT (cm cm <sup>-3</sup> )	MS (g)	N (g kg <sup>-1</sup> )
Tratamentos				
	<i>p</i> valor			
Bloco	0,6638	0,0987	0,2677	0,0038
Distância	0,0006	0,1596	0,0063	0,9375
Espécie	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
Distância x Espécie	0,0370	<,0001	0,0026	0,0139
CV	20,91%	23,63%	6,99%	8,97%